



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

RELAÇÃO VIBRAÇÃO/RUÍDO COM O TIPO DE PISO, EM VEÍCULOS LIGEIRO. UTILIZAÇÃO DOS DADOS COMO FERRAMENTA DE ESTUDO DO IMPACTO NA SAÚDE DOS CONDUTORES

Marco Sérgio Ferreira Dias

Orientador

Professora Doutora Maria Luísa Pontes da Silva Ferreira de Matos (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Coorientador

Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Arguente

Doutora Emília Quelhas Costa (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Presidente do Júri

Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

2018



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt ISN: 3599*654



Telefone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Electrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

Para as pessoas mais importantes da minha vida, os meus Pais António e Fátima Conceição, por serem como são, por estarem sempre presentes nas horas mais difíceis, pela constante disponibilidade e palavras de apoio e carinho.

Para a minha Comadre e grande amiga Marlene Paulo, pelo constante incentivo, apoio e compreensão, quando tudo me parecia difícil e distante.

Para a minha Orientadora, Prof^a Dra. Maria Luísa Matos, pela sua constante disponibilidade, paciência e motivação para que este projeto seguisse sempre no bom caminho e nunca existisse desmotivação da minha parte, bem como ao meu Coorientador, Prof. Dr. João Santos Baptista, cuja enorme amizade e cumplicidade, contribuíram para o sucesso deste projeto.

E por último, mas igualmente de extrema importância, à minha colega do MESHO, Márcia Fonseca Fernandes, sem a qual este projeto teria enfrentado sérias dificuldades, pois o seu auxílio na recolha de dados foi fator crucial para a interpretação dos resultados.

O meu muito obrigado!

“O que é bonito neste mundo, e anima, é ver que
na vindima de cada sonho fica a cepa a sonhar outra aventura.
E que a doçura que não se prova se transfigura noutra doçura
muito mais pura e muito mais nova.”

- **Miguel Torga**

RESUMO

Introdução: Diariamente circulam pelas estradas uma enorme quantidade de veículos ligeiros, sujeitando constantemente os seus condutores ao estado em que se encontra o seu piso. Pretende-se estudar a relação entre a vibração/ruído com o tipo de piso e verificar se esses dados podem servir para desenvolver uma ferramenta de gestão na manutenção do pavimento urbano.

Objetivo: Recolher e tratar dados relativos à vibração e ao ruído num trajeto definido com diferentes tipos de piso e irregularidades. Tratar e utilizar os dados como ferramenta de estudo do impacto na saúde dos condutores.

Método: Foi definido um trajeto e realizados quatro ensaios com a utilização de um sonómetro e um acelerómetro para obtenção dos dados necessários à interpretação pretendida. O trajeto selecionado encontra-se dentro do distrito do Porto e foi realizado dentro de um horário com pouca circulação de trânsito para evitar filas de trânsito e o tradicional pára-arranca que prejudicaria a obtenção de dados.

Resultados: Durante a obtenção dos dados foi possível evidenciar, quer na vibração, quer no ruído, algumas das irregularidades observadas durante os ensaios. Em termos de relação vibração/ruído verifica-se, pela interpretação dos valores obtidos, que ela existe, embora com variação nos valores obtidos para o mesmo tipo de irregularidade.

Conclusões: Os resultados obtidos nos ensaios, e sobretudo a dificuldade na análise de resultados obtidos para o ruído no interior do veículo, bem como a relação estabelecida entre o ruído e a vibração, orientam numa necessidade de desenvolver um estudo mais aprofundado sobre o assunto, tendo em conta a ausência de estudos sobre a relação vibração/ruído como forma de detetar a degradação dos pisos e desenvolvimento de uma ferramenta de gestão dos mesmos.

Palavras-chave: vibração, ruído; veículos ligeiros; manutenção; pavimentos urbanos.

ABSTRACT

Introduction: Every day a huge amount of light vehicles travels daily by road, and its drivers are constantly subjected to the conditions of the surface of road. We intended to study the relation between vibration/noise with the road condition and if the data can be used to develop a management tool in the maintenance of urban pavements.

Objective: To collect and process data related to vibration and noise in a defined path with different types of floor and irregularities. Treatment and use of data as a management tool on impact in the health of the drivers.

Method: A course was defined, and four tests were performed using a sound level meter and an accelerometer to obtain the necessary data for the intended interpretation. The selected route is located within the district of Oporto and was carried out in a schedule with little traffic circulation to avoid traffic queues and the traditional stop-start that would hinder the collection of data.

Results: During the data collection, it was possible to verify, both in vibration and in noise, some of the irregularities observed during the tests. In terms of the vibration / noise ratio, it is verified by the interpretation of the values that it exists although there is variation in the values obtained for the same type of irregularity.

Conclusion: The results obtained in the tests, and in particular the lack of results in relation to noise analysis within the vehicle, as well as the relationship between noise and vibration, give rise to a need to develop a more in-depth study on the subject considering the absence of studies on the relation vibration/noise as a way of detecting the degradation of the floors and the development of a management tool of the same.

Keywords: vibration; noise; light vehicle; maintenance; urban pavement.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	3
1.1	Ruído como fonte de poluição sonora.....	3
1.2	Vibração como elemento de segurança.....	4
1.3	Manutenção dos pavimentos urbanos	4
1.4	Questão de Investigação.....	5
1.5	Hipóteses de Trabalho.....	5
2	Fundamentação do trabalho	7
2.1	Localização do ensaio	8
2.2	Conceitos básicos de ordem técnica e/ou científica.....	8
2.2.1	Método de avaliação do piso	8
2.2.2	Método de avaliação do ruído	8
2.3	Enquadramento Legal e Normativo.....	9
2.4	Bases teóricas e conceptuais.....	9
2.4.1	Quantificação do conforto na condução.....	10
2.4.2	Quantificação da segurança na condução	11
2.5	Conhecimento Científico.....	12
2.5.1	Resultados	13
2.6	Objetivos da Dissertação.....	14
2.6.1	Objetivo Geral	14
2.6.2	Objetivo Secundário	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1	Materiais e Métodos.....	17
3.2	Metodologias de ensaio.....	20
4	RESULTADOS	23
4.1	Percurso selecionado.....	23
4.2	Posicionamento do Acelerómetro (sensores) e do Sonómetro	26
4.3	Resultados obtidos	28
4.4	Representação das irregularidades nos espetros de ruído e de vibração.....	37
4.4.1	Irregularidades do piso identificadas no espetro de ruído.....	37

4.4.2	Irregularidades identificadas no espectro das acelerações	39
5	DISCUSSÃO	43
5.1	Análise dos resultados	43
5.1.1	Vibração.....	43
5.1.2	Ruído	50
5.2	Discussão dos resultados	50
6	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS.....	53
6.1	Conclusões	53
6.2	Perspetivas Futuras.....	54
7	BIBLIOGRAFIA	55
8	ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Acidentes de trabalho por local de acidente.....	3
Figura 2 - Produção de ruído pelo veículo dependente da velocidade [30].	7
Figura 3 - Resultado da pesquisa.	14
Figura 4 - Características e defeitos nas estradas.	18
Figura 5 - Sistema coordenadas veículo e sensor inércia de acordo com ISO 8855:2011 [30].	19
Figura 6 - Método de avaliação da pressão sonora na cavidade do pneu [30].	19
Figura 7 – Representação do percurso.	23
Figura 8 – Percurso total percorrido.	24
Figura 9 – Perfil de velocidade nos quatro ensaios.....	26
Figura 10 – Posicionamento das “bolachas” do acelerómetro.	27
Figura 11 – Vista do conjunto dos sensores.	27
Figura 12 – Posicionamento do sonómetro.	28
Figura 13 – Valores de acelerações obtidas no 1º ensaio.....	33
Figura 14 – Valores de acelerações obtidas no 2º ensaio.....	33
Figura 15 – Valores de acelerações obtidas no 3º ensaio.....	34
Figura 16 – Valores de acelerações obtidas no 4º ensaio.....	34
Figura 17 – Valores de ruído para o 1º ensaio.....	35
Figura 18 – Valores de ruído para o 2º ensaio.....	35
Figura 19 - Valores de ruído para o 3º ensaio.	36
Figura 20 - Valores de ruído para o 4º ensaio.	36
Figura 21 – Irregularidades identificadas no espectro de ruído (1º Ensaio).	37
Figura 22 – Irregularidades identificadas no espectro de ruído (2º Ensaio).	38
Figura 23 – Irregularidades identificadas no espectro de ruído (3º Ensaio).	38
Figura 24 – Irregularidades identificadas no espectro de ruído (4º Ensaio).	39
Figura 25 – Irregularidades identificadas no espectro das acelerações (1º Ensaio).	39
Figura 26 – Irregularidades identificadas no espectro das acelerações (2º Ensaio).	40
Figura 27 – Irregularidades identificadas no espectro das acelerações (3º Ensaio).	40
Figura 28 – Irregularidades no espectro de vibrações (4º Ensaio).	40
Figura 29 – Irregularidades no espectro de acelerações - Assento (1º Ensaio).....	43
Figura 30 – Irregularidades no espectro de acelerações - Assento (2º Ensaio).....	44

Figura 31 – Irregularidades no espectro de acelerações - Assento (3º Ensaio).....	44
Figura 32 – Irregularidades no espectro de acelerações - Assento (4º Ensaio).....	44
Figura 33 – Valores relativos ao Parâmetro SEAT.....	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Reações conforto esperadas às vibrações de acordo com ISO 2631-1 [22].	11
Tabela 2 - Resultados da pesquisa por ano.	13
Tabela 3 - Resultados da pesquisa por recurso.	13
Tabela 4 – Velocidades máxima e média, duração e distância de cada ensaio.	24
Tabela 5 – Identificação dos defeitos do piso percorrido no 1º ensaio.	29
Tabela 6 – Identificação dos defeitos do piso percorrido no 2º ensaio.	30
Tabela 7 – Identificação dos defeitos do piso percorrido no 3º ensaio.	31
Tabela 8 – Identificação dos defeitos do piso percorrido no 4º ensaio.	32
Tabela 9 – Relação entre acelerações e ruído por tipo de irregularidade no 1º ensaio.	41
Tabela 10 – Relação entre acelerações e ruído por tipo de irregularidade no 2º ensaio.	41
Tabela 11 – Relação entre acelerações e ruído por tipo de irregularidade no 3º ensaio.	42
Tabela 12 – Relação entre acelerações e ruído por tipo de irregularidade no 4º ensaio.	42
Tabela 13 – Acelerações medidas no assento - 1º ensaio.	45
Tabela 14 – Acelerações medidas no assento - 2º ensaio.	45
Tabela 15 – Acelerações medidas no assento - 3º ensaio.	46
Tabela 16 – Acelerações medidas no assento - 4º ensaio.	46
Tabela 17 – Valor médio das acelerações obtidas no piso.	47
Tabela 18 – Valor médio das acelerações obtidas no assento.	47
Tabela 19 – Valor máximo das acelerações obtidas no piso.	48
Tabela 20 – Valor máximo das acelerações obtidas no assento.	48
Tabela 21 – Valores parciais e valor total da exposição diária às vibrações (A_8).	49
Tabela 22 – Irregularidades detetadas nos ensaios de ruído.	50

GLOSSÁRIO

Auto-estrada – via pública destinada ao trânsito rápido, com separação física na faixa de rodagem, sem cruzamentos de nível nem acesso a propriedades marginais, com acessos condicionados e sinalizada como tal.

“Coast-By Method”¹ – Especifica métodos para medir a emissão de sons dos pneus com a Estrada, de pneus montados num veículo a motor ou reboque sobre certas condições, i.e., quando o veículo ou reboque está a rodar livremente, sem utilizar o motor, com a transmissão na posição neutral e o motor bem como todos os sistemas auxiliares não necessários à segurança se encontram desligados.

Condutor – pessoa que detém o comando de um veículo ou animal na via pública.

Estrada Nacional – via que assegura a ligação entre a rede nacional fundamental e os centros urbanos de influência concelhia ou supraconcelhia, mas infra distrital.

“International Roughness Index” (IRI) – sistema computacional virtual baseado na resposta matemática de um modelo de veículo virtual em contacto com um perfil de estrada. É baseado na resposta da simulação de um veículo a viajar a 80 Km/h pela rugosidade de um perfil de estrada.

Pavimento Urbano² - camada constituída por um ou mais materiais que se coloca sobre o terreno natural ou terraplenado, para aumentar a sua resistência e servir para a circulação de pessoas ou veículos.

Ruído pneu/estrada – ruído gerado pela interação do pneu com a estrada.

Ruído da unidade motora – ruído gerado pelo motor do veículo, sistema de escape, sistema de admissão, refrigeração, transmissão, etc.

Ruído do veículo – ruído total de um veículo individual, dos dois principais componentes que são o ruído da unidade motora e o ruído do pneu/estrada.

“Statistical Pass-By Method”³ – procedimentos de medida criados para avaliar o ruído gerado pelos veículos e pelo tráfego em diferentes secções da superfície da estrada sob condições de tráfego específicas.

Veículo Ligeiro⁴ - veículo com peso bruto até 3500 kg e com lotação não superior a nove lugares, incluindo o do condutor, e pode ter a seguinte utilização: a) De passageiros: os veículos que se destinam ao transporte de pessoas; b) De mercadorias: os veículos que se destinam ao transporte de carga; c) Mistos: os veículos que se destinam ao transporte, alternado ou simultâneo, de pessoas e carga.

¹ <https://www.iso.org/standard/35528.html> (acedido em 30/01/2018)

² <https://pt.wikipedia.org/wiki/Pavimento> (acedido em 27/10/2017)

³ <https://www.iso.org/standard/20232.html> (acedido em 30/01/2018)

⁴ Artigo 106º do Decreto-Lei n.º 114/94 de 03 de Maio de 1994

SIGLAS

ASTM – “*American Society for Testing and Materials*”.

CEN – Comité Europeu de Normalização.

dB(A) – Unidade de medida da pressão sonora, na curva de ponderação A.

DLC – “*Dynamic load coefficient*”.

EN - Norma Europeia.

EUA – Estados Unidos da América.

IRI – “*International Roughness Index*”.

ISO – “*International Organization for Standardization*”.

Pr EN – Pré-Norma Europeia.

RMS – “*Root Mean Square*”.

SEAT – “*Seat Effective Amplitude Transmissibility*”.

SPB – “*Statistical Pass-By*”.

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO

De modo a assegurar que as estradas são seguras e transmitem conforto ao veículo ou reduzem a carga dinâmica do veículo e pavimento, é necessária uma caracterização apropriada da rugosidade do perfil longitudinal das estradas para a manutenção das mesmas (Múčka 2017) [32].

Em 2014, 87,0% do total dos acidentes de trabalho, durante o período laboral, ocorreram no interior do estabelecimento onde se desenrola a atividade laboral, e apenas 1,4% foram acidentes de viação durante o tempo de trabalho. No entanto, este último local revela um indicador elevado de gravidade, uma vez que foi responsável por 24,4% dos acidentes mortais (Figura 1)⁵.

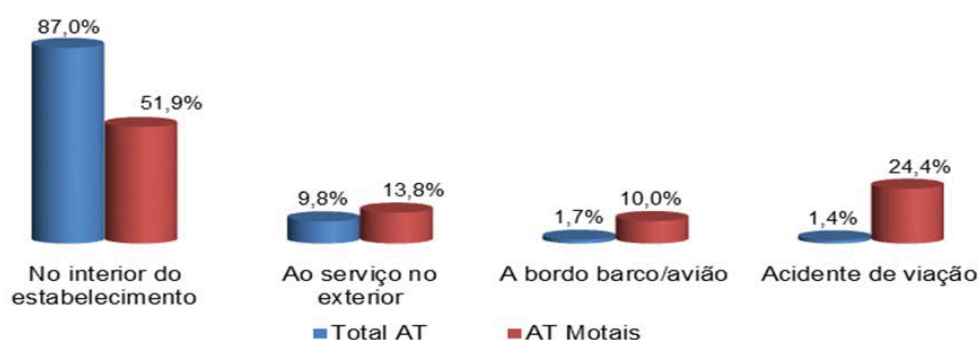


Figura 1 - Acidentes de trabalho por local de acidente.

1.1 Ruído como fonte de poluição sonora.

As atividades de desenvolvimento devido à urbanização e a consequente alteração no estilo de vida resultaram no aumento do número de veículos. A poluição sonora devida aos veículos aumentou abruptamente (Roy et al. 2012) [40]. Como exemplo, a Índia tem emergido como uma nação de rápido desenvolvimento devido à rápida industrialização e urbanização (Roy, Mukhopadhyay, Ghosh & Majumber 2013) [41].

A capacidade de um veículo gerar ruído depende, não só do tipo de motor usado, da qualidade da transmissão e sistemas de escape, do sistema de travagem, da admissão e arrefecimento (ventoinhas), formas da carroçaria e seus efeitos aerodinâmicos (movimento do ar em torno do veículo) mas também, da interação entre o piso e os pneus (Shukla 2007) [49], pois um grande contributo para o ruído do trânsito é o ruído provocado pela interação pneu/estrada, principalmente acima dos 40 km/h, mas em todas as condições de condução (Sandberg 2001) [46].

⁵ <http://www.gep.msess.gov.pt/estatistica/acidentes/at2014sint.pdf> (acedido em 29/01/2018)

1.2 Vibração como elemento de segurança

A velocidade atingida pelos veículos é um dos parâmetros principais para descrever o comportamento dos condutores (Bifulco et al. 2015; Iodice & Senatore 2015) [6][19], contudo, tem que ser reconhecido que a velocidade que os condutores alcançam é afetada por diversos fatores, sendo que, a vibração no interior do veículo pode representar um papel bastante importante. A maior parte das medidas de redução de velocidade dos nossos dias baseia-se no nível de vibração vertical perceptível pelo condutor e isso é baseado na interação dinâmica entre o veículo e a rugosidade do piso (Pernetti, D'Apuzzo & Galante 2016) [37].

Por outro lado estas vibrações têm que ser cuidadosamente monitorizadas e controladas pois são um parâmetro fundamental nos sistemas de monitorização de pavimentos, uma vez que influenciam o conforto de condução, danos no pavimento (D'Apuzzo et al. 2004, 2012) [11][12] e os custos de manutenção dos veículos (Bennett and Greenwood 2001; Chandra 2004) [5][10].

1.3 Manutenção dos pavimentos urbanos

Existem múltiplos defeitos nos pavimentos urbanos, incluindo vários tipos de deformações superficiais, falhas e manchas. Algumas das falhas dos pavimentos urbanos devem-se às caixas de acesso aos esgotos e aos sistemas de água e telecomunicações (Sadeghi 2010) [42]. Embora seja alocada uma verba considerável para a reparação e manutenção das estradas urbanas, o ciclo de vida dos pavimentos é muito curto comparado com as estradas nacionais (Sadeghi 2010) [42]. Se o pavimento não for reparado num tempo adequado, os custos de reparação aumentam significativamente à medida que o pavimento se deteriora. Um modelo de deterioração do pavimento é o elemento chave no estabelecimento dos sistemas de gestão de manutenção de pavimentos. Ajuda a compreensão por parte dos programadores relativamente ao comportamento dos pavimentos e a seleccionar a estratégia mais eficiente na relação custo-benefício. A revisão das estratégias de manutenção nas cidades cosmopolitas, particularmente nos países desenvolvidos indica que a implementação dos sistemas de manutenção dos pavimentos urbanos tem várias limitações no que respeita aos planos de manutenção a longo prazo. Isto deve-se à falta de suficiente compreensão do padrão de deterioração do pavimento (Sadeghi, Najafabadi & Kaboli 2017) [43].

Em detalhe, quando um veículo circula numa superfície irregular, como resultado da interação dinâmica, são transmitidas forças dinâmicas verticais ao pavimento e são geradas vibrações no interior do veículo. Vários estudos realçaram que as forças dinâmicas verticais reduzem

grandemente a vida útil do pavimento pois podem acelerar a degradação do mesmo (Abagnale et al. 2014; D'Apuzzo et al. 2004, 2012) [2][11][12].

1.4 Questão de Investigação

- A relação vibração/ruído nos veículos ligeiros permite identificar o tipo de piso e o seu estado?
- Os efeitos da exposição à vibração e ao ruído, mediante os valores detetados, poderão provocar efeitos adversos ao trabalhador?

1.5 Hipóteses de Trabalho

Dos artigos analisados, fruto da pesquisa bibliográfica sobre o tema em discussão, nenhum deles aborda a relação entre o ruído e a vibração em conjunto, pelo que este estudo pretende relacionar essas duas grandezas com o tipo de piso e verificar se esses elementos poderão desempenhar um papel na criação de uma ferramenta de gestão de manutenção do pavimento. Com os dados obtidos, pretende-se igualmente analisar os valores da vibração e ruído separadamente comparando-os com a legislação nacional a fim de concluir acerca da exposição dos trabalhadores (por exemplo, comerciais e profissionais de manutenção e distribuição) a essas duas grandezas.

2 FUNDAMENTAÇÃO DO TRABALHO

É sobejamente conhecido que a superfície de uma estrada pavimentada não é perfeitamente plana, mas inclui irregularidades que podem ser singulares ou distribuídas (Fernando & Rawool 2005) [16]. A distribuição de irregularidades está sempre presente em qualquer pavimento. Podem ser atribuídas aos defeitos inevitáveis decorrentes dos processos de construção das estradas (Iodice & Senatore 2015) [19] à degradação progressiva dos materiais e à capacidade estrutural das estradas (Pernetti et al. 2016) [37].

Os veículos ao movimentarem-se pelas estradas são dinamicamente excitados pelas variações das elevações do perfil da estrada e, como resultado disso, as vibrações são transmitidas pela carroçaria do veículo aos ocupantes do mesmo. O desconforto que os condutores sentem devido a essas vibrações é um dos elementos chave na perceção da velocidade e sua escolha. De facto, é do senso comum que os condutores escolhem diferentes velocidades relacionadas com o nível de vibração que sentem devido à interação dinâmica com o perfil do pavimento da estrada (Bennet & Greenwood 2001; Chandra 2004) [5][10].

A fonte da relação pneu/ruído pode ser analisada em duas perspetivas. A primeira, são as características do pneu e uma segunda perspetiva recai sobre as características da superfície da estrada como um todo. Os pneus são o único ponto de contacto que existe entre o veículo e a superfície da estrada, tendo como função carregar com todo o peso e transferir as forças para a estrada. A maior fonte de ruído gerado pelos veículos é o ruído criado pelo pneu/estrada. A percentagem de intensidade de ruído em movimento é apresentada na Figura 2, que indica a prevalência do ruído pneu/estrada. Com velocidades acima dos 40 m/s, o ruído do pneu/estrada é a fonte de ruído mais dominante (Masino, Wohnhas, Frey & Gauterin 2017) [30].

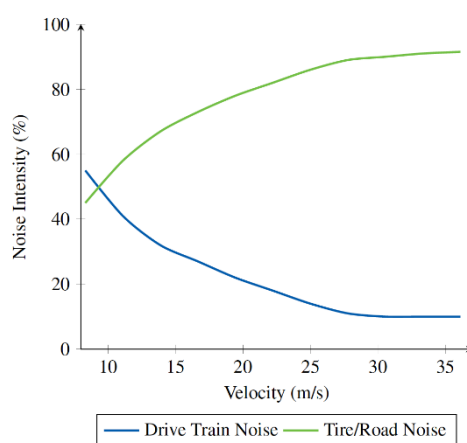


Figura 2 - Produção de ruído pelo veículo dependente da velocidade [30].

2.1 Localização do ensaio

Este projeto será realizado em vários tipos de via pública. Pretende-se efetuar os testes nas autoestradas A3 e A41, bem como em estradas nacionais, sendo que, no caso destas últimas pretende-se circular com o veículo por vários tipos de construção de piso.

2.2 Conceitos básicos de ordem técnica e/ou científica

2.2.1 Método de avaliação do piso

Existem vários métodos de avaliação de pisos, sendo que, desde 1970, muitos países realizaram uma série de conquistas no estudo de sistemas de deteção, tais como “*Way Link*” desenvolvida pelo “Research Institute of Transportation – University of Arkansas”, PAVUE desenvolvida pelo “Road Traffic Research Institute” e o “Royal Institute of Technology” ambos da Suíça, “*Road Crack*” (um novo sistema de vigilância para recolha de dados de pavimento desenvolvido pelo “CSIRO Laboratory”) da Austrália, e o PSI (um sistema de deteção multifuncional para a recolha de dados de pavimento) dos EUA ([Zhang 2010](#)) [53]. Mesmo com a existência de vários métodos de avaliação, devido a diversos tipos de constrangimentos, quer da geometria, fundos, demografia e/ou outros aspetos, a informação das estradas secundárias, que possuem a maior cobertura rodoviária, baseia-se principalmente no sistema de patrulhamento manual ([Liu & Zou 2016](#)) [29].

O IRI (*International Roughness Index*) é o índice mais utilizado mundialmente para caracterizar a rugosidade das estradas sendo utilizado para avaliar e gerir o sistema de estradas. O IRI serve igualmente como um sistema de medida da performance do pavimento. Este índice é fortemente correlacionado na generalidade dos níveis de vibração e na generalidade dos níveis de carga vibratória dos pavimentos ([Sayers & Karamihas 1998](#)) [48]. Existe uma correlação elevada entre a resposta subjetiva dos indivíduos do teste no veículo e o IRI ([Sayers et al. 1986, 1988; Dahlstedt 2003; Tehrani et al. 2015; Wang & Easa 2016](#)) [48] [47] [13] [50] [52].

2.2.2 Método de avaliação do ruído

O método SPB (*Statistical Pass-By*), é o método mais comum de avaliação de ruído urbano e é baseado em medições do nível de pressão sonora segundo a curva A, (dB(A)), segundo as estatísticas da enorme quantidade de veículos que passam pelo local de medição. Este método é geralmente efetuado em três níveis de velocidades chamadas de “estradas de baixa velocidade”, “estradas de média velocidade” e “estradas de alta velocidade” com as gamas de velocidades de 45 – 65 km/h, 65 – 99 km/h e superiores a 100 km/h, respetivamente ([Haider & Sandberg 2006](#)) [18].

No caso do estudo de Masino, Wohnhas, Frey & Gauterin ([Masino, Wohnhas, Frey & Gauterin 2017](#)) [30], o método utilizado foi o método “Coast-By”, que é uma variante do mais comum método SPB.

2.3 Enquadramento Legal e Normativo

De modo a responder aos objetivos deste estudo, a legislação consultada é a seguinte:

- Decreto-Lei n.º 182/2006, de 6 de setembro (Prescrições mínimas de segurança e de saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (ruído), que é aplicável a todas as atividades dos setores privado, cooperativo e social, da administração pública central, regional e local, dos institutos públicos e das demais pessoas coletivas de direito público, bem como a trabalhadores por conta própria) [14];
- Decreto-Lei nº 46/2006, de 24 de fevereiro (Prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos a vibrações mecânicas) [15].

Relativamente a normas, a que foi consultada é a que se segue, e pretende responder a um objetivo do presente estudo:

- NP EN ISO 2631-1:2007 (Vibrações mecânicas e choque – Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações – Parte 1: Requisitos gerais) [34];
- NP EN ISO 9612:2011 (Acústica – Determinação da exposição ao ruído ocupacional – Método de Engenharia) [35].

As restantes normas são as referenciadas na bibliografia referenciada ao longo do estudo:

- ISO 13325:2003 (Pneus – Método “Coast-by” para medir a emissão do som pneu-estrada) [23];
- ISO 11819-1:1997 (Acústica – Medição da influência da superfície das estradas no ruído do tráfego – Parte 1: Método estatístico “Pass-By”) [21];
- ISO 2631-5:2004 (Vibrações mecânicas e choque – Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações – Parte 5: Método para avaliação de vibrações com múltiplos choques) [24];
- Pr EN 13036-5:2015 (Características das estradas e pistas de aviação – Método de testes – Parte 5: Determinação dos índices longitudinais de desigualdade) [38];
- ASTM E 1926-98:2003 (Prática padrão para calcular o Índice Internacional de Rugosidade de Estradas a partir de medidas de perfil longitudinal) [3].

2.4 Bases teóricas e conceptuais

O artigo de Múčka ([Múčka 2017](#)) [32] incide sobre os valores limite da rugosidade da estrada baseados na vibração medida no veículo. Este estudo teve como objetivo identificar a relação entre a resposta das medidas de vibração do veículo e o IRI com base em medições de campo.

As medições em campo que relataram essa relação foram raras no passado, surgindo a maioria das medidas apenas nos últimos anos. Seria interessante ter uma ideia sobre a resposta excitada do veículo para um valor de IRI específico. O impacto de um perfil de estrada caracterizado pelo IRI no conforto e segurança de condução foi quantificado (Múčka 2017) [32].

O IRI é um valor numérico que resume as qualidades de rugosidade com impacto na resposta do veículo. O IRI é uma medida adimensional com unidades (mm/m) ou (in/mi). O algoritmo foi proposto por Sayers (Sayers et al. 1986) [47] e também foi implementado na prEN 13036-5:2015 (Pr EN 2015) [38] ou E1926-98:2003 (ASTM 2003) [3]. O IRI é um elemento estatístico frequentemente utilizado nos sistemas de gestão do pavimento e na comunidade de engenharia de transporte/rodovia. As limitações do IRI para caracterizar a rugosidade das estradas foi discutida em Kropáč Múčka e Granlund (Kropáč e Múčka (2005), Múčka e Granlund (2012), e Múčka (2013) [28][33][31] e Liu & Zou (Liu & Zou 2016) [29].

Foram analisadas as respostas de vibração medidas no conforto e segurança da condução.

2.4.1 Quantificação do conforto na condução

Para se proceder à quantificação do conforto na condução, utiliza-se o valor RMS (Root Mean Square) da ponderação da frequência na aceleração vertical (a_{wZZ}) ou aceleração total (a_{wXYZ}), medida no assento da viatura, avaliado nas três direções ortogonais: x (frente-atrás), y (lateral) e z (vertical);

A ISO 2631-1 (ISO 1997; Griffin 2007) [22][17] define métodos para medição de vibrações periódicas, aleatórias e transitórias do corpo inteiro.

Para avaliar o conforto de pessoas sentadas, a norma trabalha numa faixa de frequência de 0,5-80 Hz, que ocorre em todas as seis coordenadas do plano do banco. Também se aplica aos três eixos de translação no encosto do banco e aos pés das pessoas sentadas. A ISO 2631-1 (ISO 1997) [22] define os filtros de ponderação para modificar a resposta de frequência dos dados, dando maior proeminência para aquelas frequências onde o corpo humano é mais sensível à vibração. A Tabela 1 apresenta a escala ponderada em frequência da aceleração vertical atuando sobre um corpo humano sentado de acordo com a norma ISO 2631-1 (ISO 1997) [22]. Os níveis de conforto na Tabela 1 correspondem às prováveis reações dos passageiros num sistema de transporte público.

O valor total da vibração ou a soma vetorial a_{wXYZ} da aceleração RMS ponderada, determinada por vibração em coordenadas ortogonais, é calculada (ISO 1997) [22] por:

$$a_{wXYZ} = \sqrt{k_x^2 a_{wX}^2 + k_y^2 a_{wY}^2 + k_z^2 a_{wZ}^2}$$

onde a_{wX} ; a_{wY} ; a_{wZ} (m/s^2) = acelerações de RMS ponderadas em relação aos eixos x, y e z, e k_x , k_y , k_z são fatores multiplicativos, sendo que este valor é recomendado para o critério conforto (ISO 1997) [22].

Os níveis de ação de vibração total⁶ são definidos como $a_{wXYZ} (m/s^2) = 0,5 (8/t_h)^{1/2}$, onde a duração da exposição, t_h , é expressa em (h). Assim que os valores de ação de exposição são excedidos, o empregador deve estabelecer e implementar um programa destinado a reduzir as vibrações mecânicas e os seus riscos associados a uma exposição mínima. Os correspondentes valores de ação para exposições de 8, 4 e 1 h são $A(8)=0,5 m/s^2$, $A(4)=0,707 m/s^2$, e $A(1)=1,414 m/s^2$, respetivamente (Masino, Wohnhas, Frey & Gauterin 2017) [30].

Tabela 1 - Reações conforto esperadas às vibrações de acordo com ISO 2631-1 [22].

Range of RMS values of frequency-weighted acceleration on the seat (m/s^2)	Comfort level
<0.315	Not uncomfortable
0.315–0.63	A little uncomfortable
0.5–1	Fairly uncomfortable
0.8–1.6	Uncomfortable
1.25–2.5	Very uncomfortable
>2	Extremely uncomfortable

2.4.2 Quantificação da segurança na condução

O DLC (Coeficiente de Carga Dinâmica) foi considerado como um elemento de medição na condução para segurança, manobrabilidade, ou carga dinâmica do veículo e do pavimento. O DLC é uma medida de variação da carga vertical da roda e é definida como a razão do desvio padrão da força dinâmica vertical do pneu ($\sigma_{F_{dyn}}$) em relação à força estática do pneu (F_{stat}).

$$DLC = \frac{\sigma_{F_{dyn}}}{F_{stat}}$$

Um valor de DLC acima de 0,3 é considerado muito alto. Para $DLC = 0,3$, uma perda de contato da roda-estrada pode ocorrer em aproximadamente 0,135% de casos (i.e., 5 s por 1 hora), para $DLC = 0,4$ em aproximadamente 0,62% de casos, e para $DLC = 0,5$ em 2,27% dos casos numa suposição de sinal Gaussiano. O DLC, na realidade, varia de 0,01 a 0,4 (Cebon 1999) [9].

Muitas referências não forneceram a regressão de relacionamento entre o IRI e a resposta à vibração. Foram observados três casos:

⁶ The European Parliament and the Council of the European Union. (2002). “On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration).” Official Journal of the European Communities, Brussels, Belgium.

- a) Foi dada a relação de regressão e os seus parâmetros;
- b) Foi apresentado graficamente o relacionamento de regressão, mas os parâmetros do modelo não foram declarados;
- c) Não foi emitida a relação de regressão e os parâmetros do modelo. Somente os dados medidos foram mostrados em números.

Para os casos (b) e (c), os gráficos particulares com dados observados foram processados manualmente. O ajuste de mínimos quadrados foi aplicado para identificar os parâmetros do relacionamento de regressão e foi utilizado o Software MATLAB para a regressão e processamento de dados (Múčka 2017) [32].

2.5 Conhecimento Científico

A pesquisa foi realizada entre setembro e dezembro de 2017, através das seguintes bases de dados eletrônicas: SCOPUS, Academic Search Complete, Web of Science, Emerald Full Text, Informaworld, SAGE, SciELO, Springerlink, Wiley Online Library, Inspec, ScienceDirect, IEEE xplora. De forma a maximizar a pesquisa foram utilizadas palavras-chave simples, bem como expressões complexas. As combinações utilizadas foram: Vibration + "Light Vehicle"; Vibration + Maintenance; Vibration + "Urban pavement"; Noise + "Light Vehicle"; Noise + Maintenance; Noise + "Urban pavement"; "Light vehicle" + Maintenance; "Light vehicle" + "Urban pavement"; Maintenance + "Urban Pavement".

A pesquisa das diversas combinações foi analisada em todas as bases de dados no campo ASSUNTO, recorrendo ao operador booleano "AND".

Os artigos são considerados elegíveis se cumprirem os seguintes pré-requisitos:

- Artigos disponíveis em texto integral (*full-text* article);
- Artigos disponíveis em Inglês, Português de Portugal ou Português do Brasil;
- Artigos que abordem pavimentos urbanos;
- Artigos que abordem viaturas ligeiras;
- Artigos que abordem vibrações no interior do veículo;
- Artigos que abordem ruído gerado pelo veículo para o seu ocupante.

Todos os estudos identificados foram selecionados inicialmente pelo título e resumo, e seguidamente, foram analisados os textos integrais. A metodologia utilizada para tratamento dos dados e organização da revisão sistemática foi baseada na metodologia PRISMA Statement⁷ [1].

⁷ <http://www.prisma-statement.org/> (acedido em 21/09/2017)

2.5.1 Resultados

Os resultados obtidos estão compreendidos entre 2013 e 2017, como se pode observar na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados da pesquisa por ano.

Ano da Publicação	Artigo
2013	[40]
2016	[29]
2016	[37]
2017	[32]
2017	[30]
2017	[43]

Foram identificados 153647 resultados, dos quais 31101 foram obtidos através de bases de dados (23279 multidisciplinares – Academic Search Complete; Web of Science; SCOPUS e 7822 engenharia – Inspec; ScienceDirect) e 122546 através de revistas científicas (119856 multidisciplinares – Emerald Full Text; Informaworld; SAGE; SciELO; Springerlink; Wiley Online Library e 2690 engenharia – IEEE Xplore). Foram eliminados por se encontrarem repetidos 26 resultados. Foram considerados elegíveis 15 artigos que cumpriram os requisitos pré-estabelecidos para a presente revisão sistemática. Dos resultados não considerados, 153556 foram excluídos por não cumprirem os requisitos base. Os resultados considerados para estudo integral foram apenas 6 uma vez que 9 dos considerados elegíveis, após análise global e criteriosa não se adequavam ao tema proposto.

Os resultados da pesquisa são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados da pesquisa por recurso.

Recurso	TOTAL	Data	Tipo de Documento	Tipo de Fonte	Língua	Fora de tema
SCOPUS	12250	8859	1825	69	233	1243
Academic Search Complete	8394	6395	145	7	36	1801
Web of Science	2635	1541	10	0	5	1064
Emerald Full Text	29040	22888	4126	0	0	2020
Informaworld	249	164	3	0	0	77
SAGE	787	528	0	0	0	259
SciELO	56	32	0	0	11	13
Springerlink	89077	59721	15638	0	59	13651
Wiley Online Library	647	426	16	0	2	200
Inspec	6479	4379	725	0	161	1200
ScienceDirect	1343	682	61	0	3	589
IEEE xplore	2690	1728	375	387	0	199
Total Global	153647	107343	22924	463	510	22316

É igualmente apresentada na Figura 3, a estrutura global da pesquisa baseada na metodologia PRISMA [1].

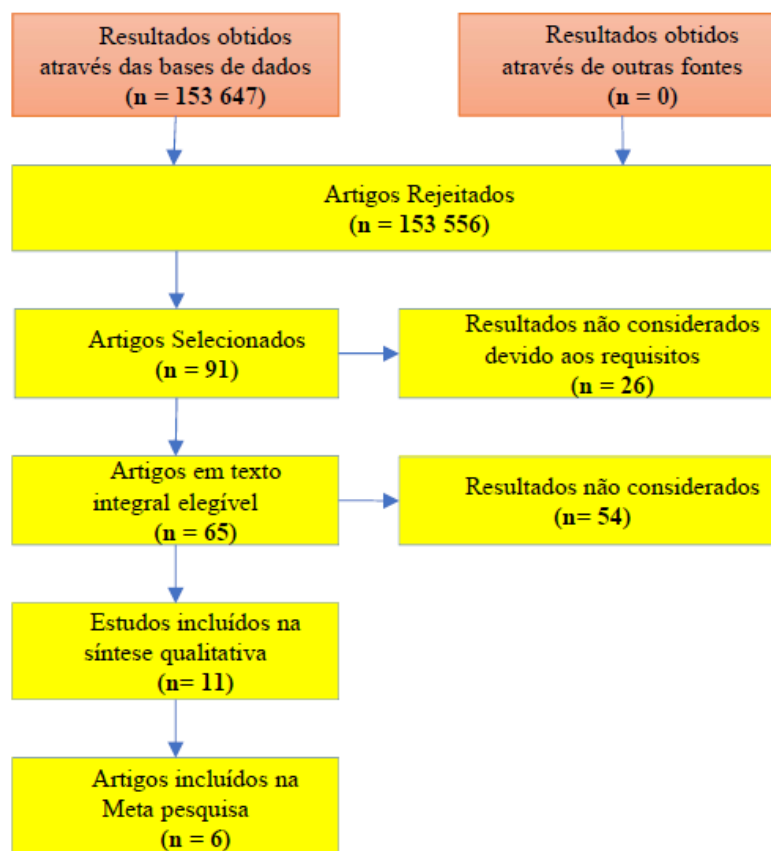


Figura 3 - Resultado da pesquisa.

Os artigos considerados elegíveis descrevem ensaios sobre estimativa de ruído originado pela circulação de veículos e pelo tipo de piso em que os mesmos circulam, métodos de recolha de dados para manutenção de pavimento, e a influência do tipo de piso no comportamento dos condutores.

2.6 Objetivos da Dissertação

2.6.1 Objetivo Geral

Pretende-se com o presente estudo relacionar entre si duas grandezas (vibração e ruído) com o intuito de perceber se, através da análise dos resultados obtidos para qualquer uma das grandezas, é possível caracterizar o tipo de piso onde o veículo ligeiro se encontra a circular.

Caso seja possível a sua identificação e diferenciação, saber se, durante a circulação da viatura num determinado piso, e este, possuir “defeitos”, será possível identificá-los (tipo de defeito e sua localização).

2.6.2 Objetivo Secundário

Como complemento ao objetivo geral, pelo facto de se recolherem valores quer das vibrações, quer do ruído, a que o ocupante do veículo se encontra exposto, no seu quotidiano ocupacional, pretende-se verificar se esses se adequam ou ultrapassam os limites definidos na legislação portuguesa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais e Métodos

À medida que nos aproximamos da época dos veículos híbridos ou totalmente elétricos, o ruído produzido pela interação pneu/estrada irá ocupar tomar uma parte importante na geração de ruído para o interior do habitáculo (Reichart 2009) [39]. O estudo analisado (Masino, Wohnhas, Frey & Gauterin 2017) [30] focou-se nas vibrações dos pneus e do veículo que são sobretudo causadas pelas irregularidades das superfícies que levam a um nível elevado de ruído produzido pela interação pneu/estrada (Iwao and Yamazaki 1996 ;Sandberg and Descornet 1980; Tsujiuchi, Koizumi, Oshibuchi & Shima 2005) [25][44][51].

As vibrações estruturais podem ser divididas em duas grandes causas, devido aos estímulos causados por adesão e às vibrações mecânicas, em que estas que podem ser divididas em ruído causado pela estrada ou ruído causado pelo perfil do pneu ou ruído causado pelo chamado achatamento dos pneus (Sandberg 1987) [45]. Outro estudo mostrou que essas vibrações estruturais representam até 80% do ruído gerado pelo contato pneu/estrada (Bschorr 1986) [7]. Em (Beckenbauer 2002) [4] mostrou-se uma diminuição do ruído produzido pela interação do pneu/estrada em 1 a 2 dB em betão asfáltico em contraste com o betão com texturas semelhantes.

Os autores também verificaram que a flexibilidade da superfície da estrada pode diminuir o ruído até 4 dB.

Em Irali, Gonzales, Tighe & Simone (Irali, Gonzalez, Tighe & Simone 2015) [20] investigou-se a influência da temperatura e do envelhecimento da estrada/via no ruído produzido pela interação pneu/estrada e concluíram que a temperatura tem pouco ou nenhum efeito sobre a geração de ruído, enquanto que a idade da estrada tem importância.

Pesquisas de Kindt (Kindt 2009) [26] mostraram um aumento no nível de pressão sonora de 15 dB não ponderado no interior do veículo, para diferentes discontinuidades da superfície da estrada, facto que foi encontrado através de uma simulação, tendo para esse efeito colocado dois pneus em cima um do outro e deformado o pneu superior. Outros estudos apontam para o relacionamento entre a rugosidade média e o ruído produzido pela interação pneu/estrada e concluíram um aumento de até 5 dB(A) dependendo da textura da superfície da estrada (Oshino and Mikami 2001; Sandberg 1987) [36][45].

O estudo de Masino, Wohnhas, Frey & Gauterin (Masino, Wohnhas, Frey & Gauterin 2017) [30] incidiu sobre as seguintes características e defeitos da estrada, que têm influência na vibração do pneu e veículo (Figura 4):

- Estrada de asfalto liso (1);

- Cruzamento com linha férrea (2);
- Tampas de esgoto (3);
- Estrada empedrada (4);
- Estrada com buracos (5);
- Estrada danificada (6);

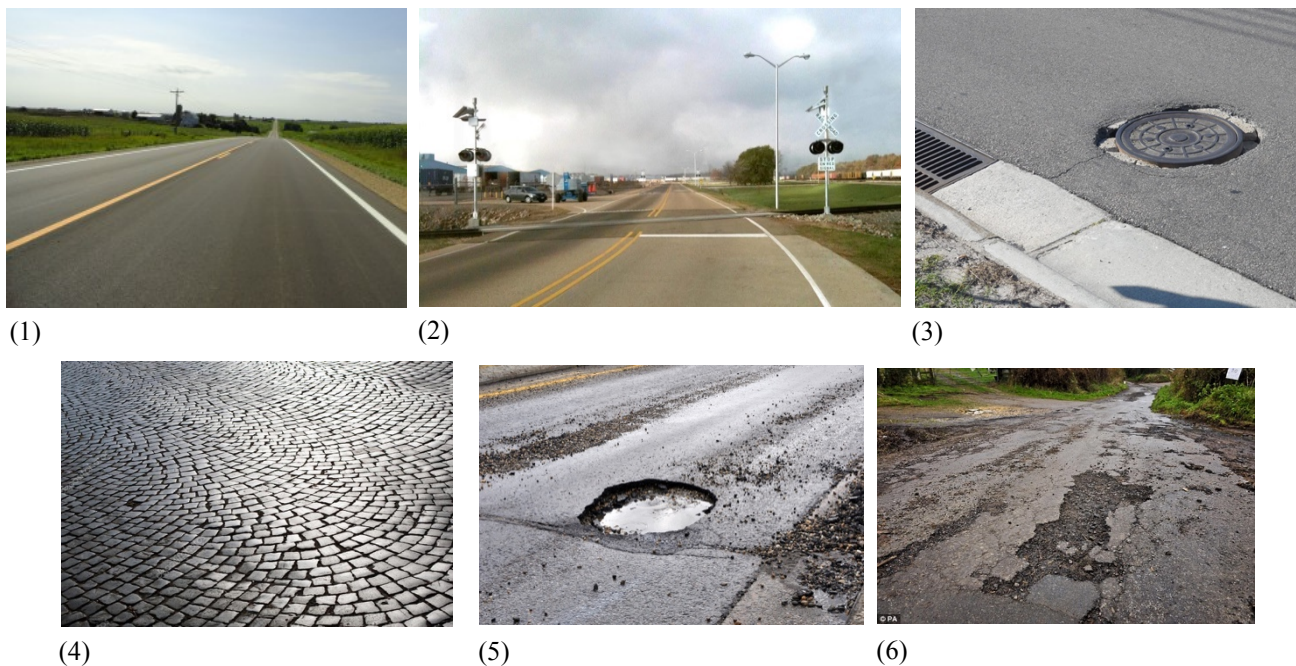


Figura 4 - Características e defeitos nas estradas.

Relativamente ao ruído, os estudos focam-se no método “*Coast-By*”, pelo que no caso do presente estudo, o ruído que se pretende avaliar não é medido no exterior do veículo, mas sim no seu interior.

Relativamente às vibrações, os principais sensores que o estudo de Masino, Wohnhas, Frey & Gauterin ([Masino, Wohnhas, Frey & Gauterin 2017](#)) [30] utilizou para a identificação e previsão dos recursos rodoviários foram:

- um sensor de inércia no centro de gravidade do veículo;
- um sensor de pressão sonora na cavidade do pneu.

O sensor inercial mede as características da dinâmica do veículo e especialmente o movimento e vibração do corpo do veículo devido às características da estrada.

A Figura 5 mostra a orientação dos sensores. O sinal é amortecido devido aos sistemas de suspensão. Contudo, o excesso de características rodoviárias, tais como cruzamentos com linhas férreas ou tampas de poços de visita mostram um curso característico da aceleração vertical, do passo ou do rolo do veículo.

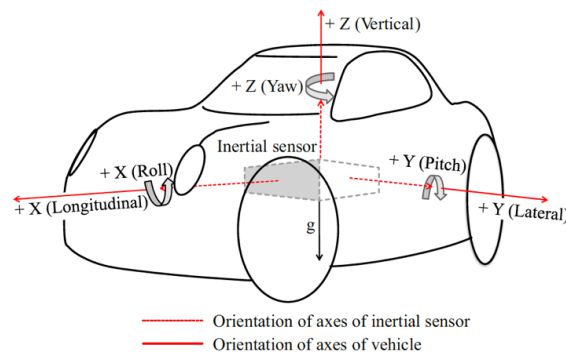


Figura 5 - Sistema coordenadas veículo e sensor inércia de acordo com ISO 8855:2011 [30].

Para identificar pequenos defeitos na estrada, que também têm um efeito sobre o ruído produzido pela interação pneu/estrada, foi incluído um sensor de pressão sonora na cavidade do pneu no método (Krauss and Gauterin 2012) [27]. A ideia em que baseia esse método de medida é apresentada na Figura 6. A carcaça do pneu de um veículo é estimulada pela superfície da estrada e suas características e defeitos particulares. Assim, o ar na cavidade do pneu oscila através da vibração da carcaça do mesmo e a pressão sonora atinge valores mais elevados que 150 dB (Bschorr 2001) [8].

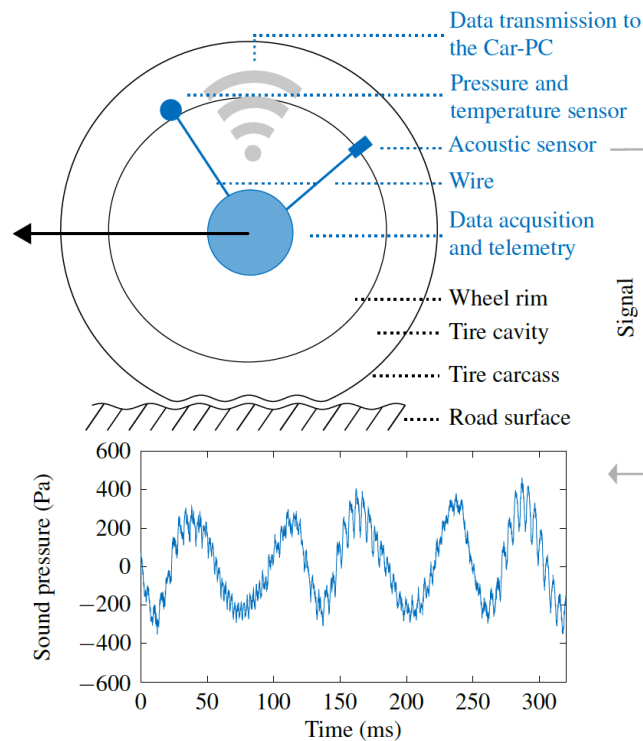


Figura 6 - Método de avaliação da pressão sonora na cavidade do pneu [30].

No que respeita aos equipamentos utilizados para a realização deste estudo, foram: para a medição do Ruído, Sonómetro marca *01 dB, modelo Blue Solo*, colocado no interior do veículo, para a medição das acelerações, Acelerómetros *SV 100*, simultaneamente colocados no interior do veículo, com as coordenadas de acordo com a Figura 5 (quanto ao referencial ortogonal utilizado) tendo ainda sido ponderada a colocação de um sonómetro e também de um acelerómetro na cava da roda, como demonstrado na Figura 6, mas tal não foi levado a cabo.

Para tratamento de dados foi utilizado o software *dBTrait* para o ruído e o software *SvanPC++ da Svantek* para tratamento das vibrações.

O veículo utilizado foi um veículo da marca MINI, modelo COOPER D de 2014 com transmissão automática, e o ensaio foi realizado na via pública do distrito do Porto. Pretendeu-se recolher amostras dos defeitos na via mencionadas na Figura 4.

3.2 Metodologias de ensaio

Para a avaliação da exposição à vibração, os métodos usados foram os referidos na norma NP EN ISO 2631-1:2007 (Vibrações mecânicas e choque – Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações – Parte 1: Requisitos gerais) [34], bem como o Decreto-Lei nº 46/2006, de 24 de fevereiro (Prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos a vibrações mecânicas) [15].

Para a avaliação da exposição ao ruído, os métodos usados foram os referidos na norma NP EN ISO 9612:2011 (Acústica – Determinação da exposição ao ruído ocupacional – Método de Engenharia) [35], bem como o Decreto-Lei n.º 182/2006, de 6 de setembro (Prescrições mínimas de segurança e de saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (ruído), que é aplicável a todas as atividades dos setores privado, cooperativo e social, da administração pública central, regional e local, dos institutos públicos e das demais pessoas coletivas de direito público, bem como a trabalhadores por conta própria) [14].

PARTE 2

4 RESULTADOS

4.1 Percurso selecionado

Para a realização dos ensaios para obtenção dos dados, foi escolhido o percurso representado na Figura 7, que se iniciou na Praceta Francisco Borges, entrando na A3 até à saída para a A41 em direção à Maia, saindo em direção a Nogueira da Maia, contorno da mesma e realização do percurso inverso até ao local de partida.

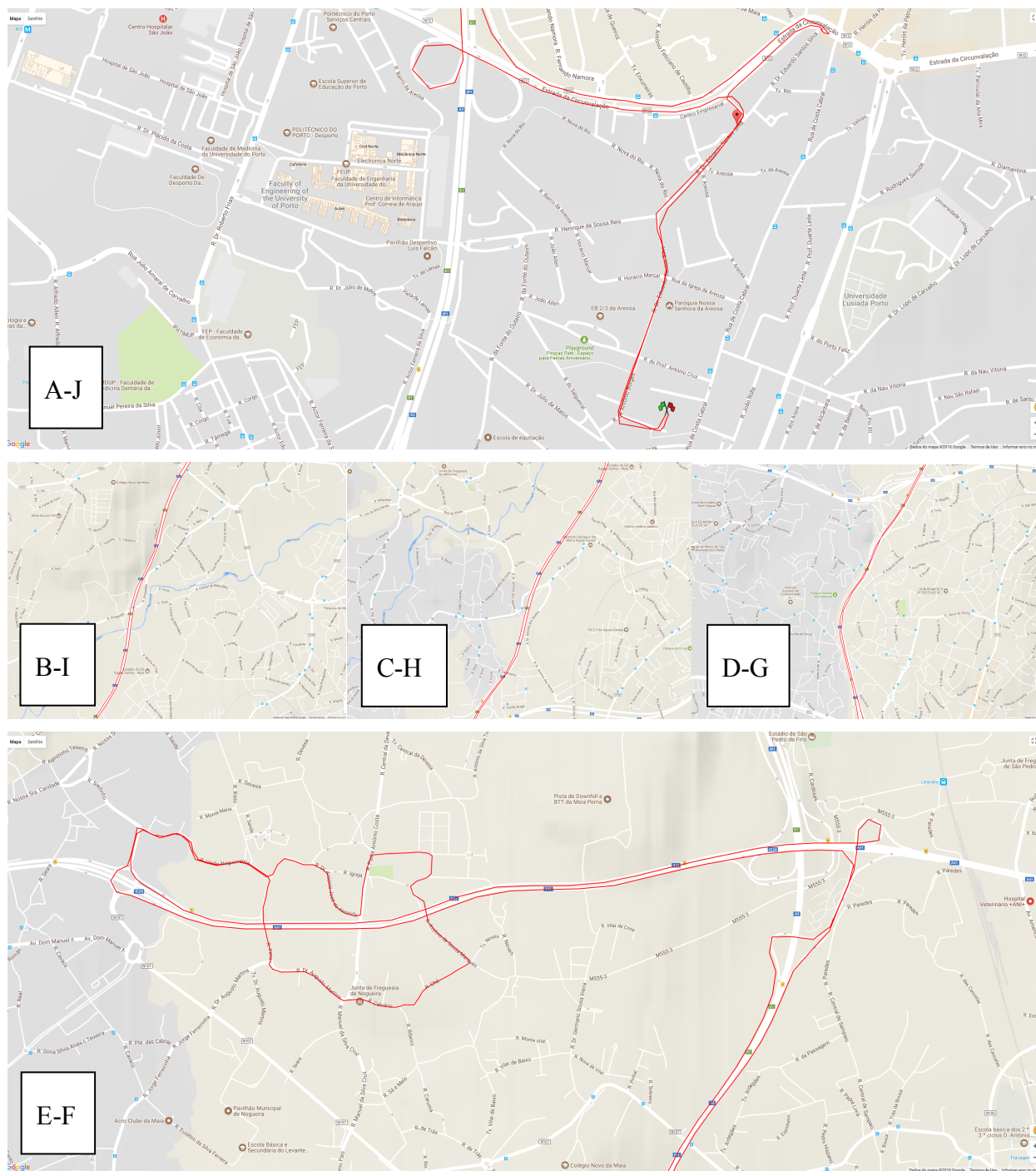


Figura 7 – Representação do percurso.

O percurso representado na Figura 7 inicia-se em A, até E e o seu regresso é de F até J, e o mesmo compreendeu um total de 30 km e um tempo de duração média de 35 minutos. O percurso foi escolhido em função das várias características do piso, permitindo realizar os testes desde o piso em autoestrada até ao piso em empedrado e com a existência de lombas, tampas de esgoto e buracos.

Na Figura 8, pode observar-se a totalidade do percurso percorrido.

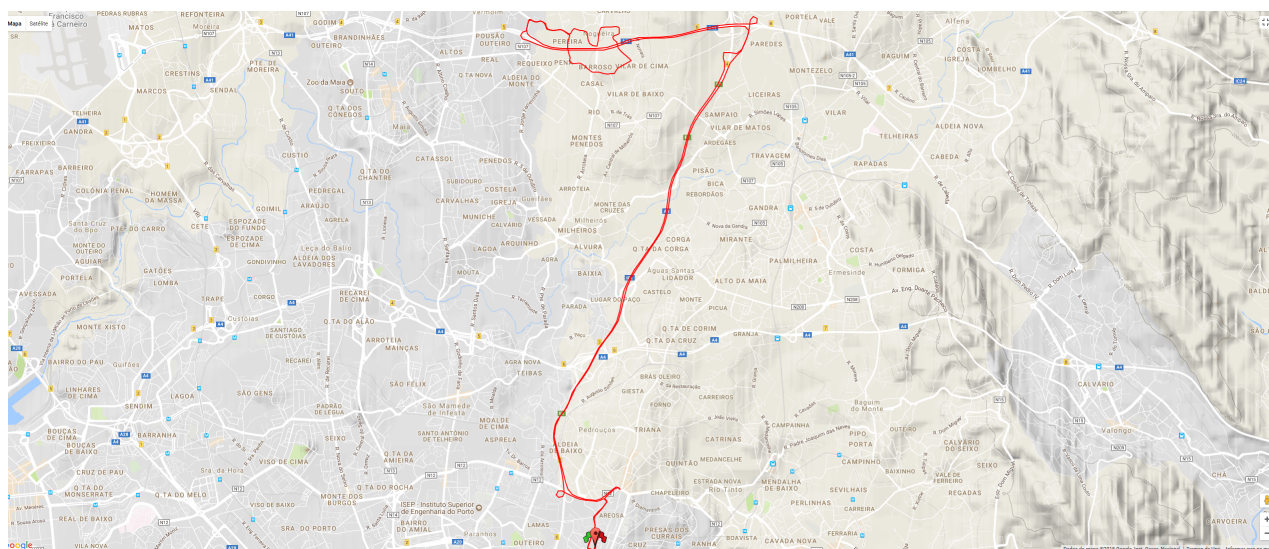


Figura 8 – Percurso total percorrido.

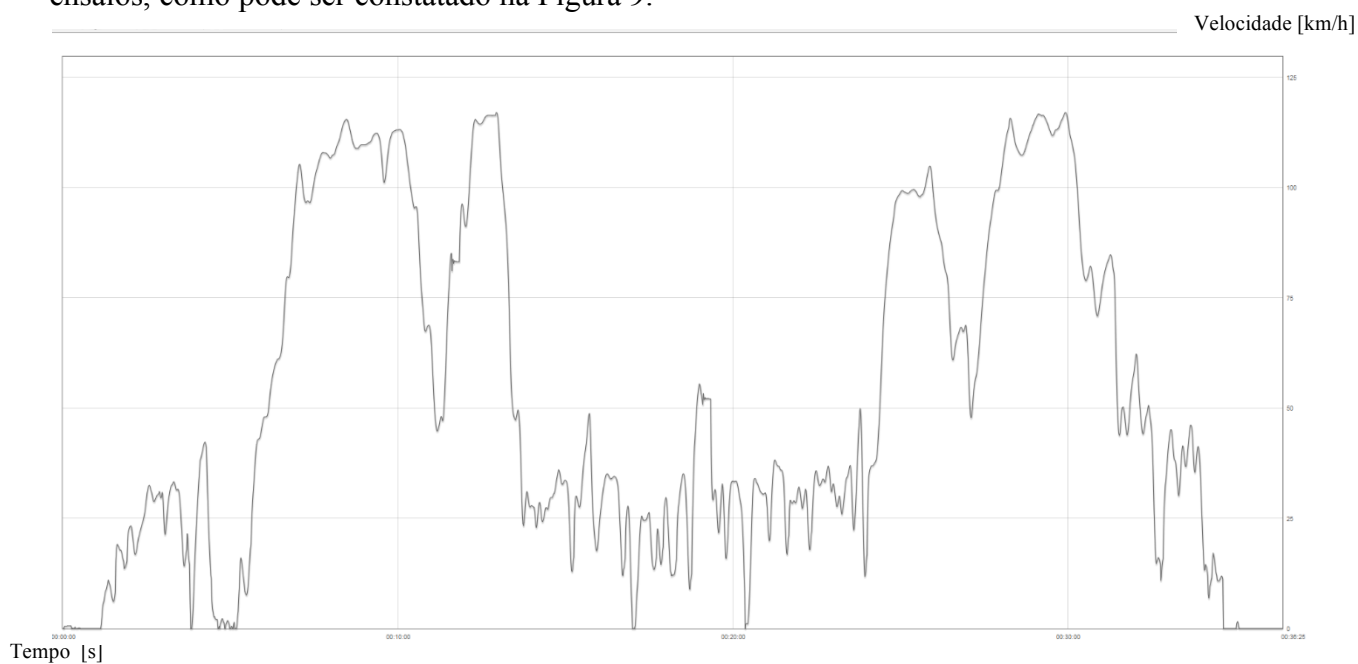
Este percurso foi realizado 4 vezes, sendo que a velocidade em cada um dos ensaios foi variável (variando entre o mínimo de 116.9 Km/h correspondente ao ensaio 1 e o máximo de 125.5 Km/h correspondente ao ensaio 2 – Tabela 4).

Tabela 4 – Velocidades máxima e média, duração e distância de cada ensaio.

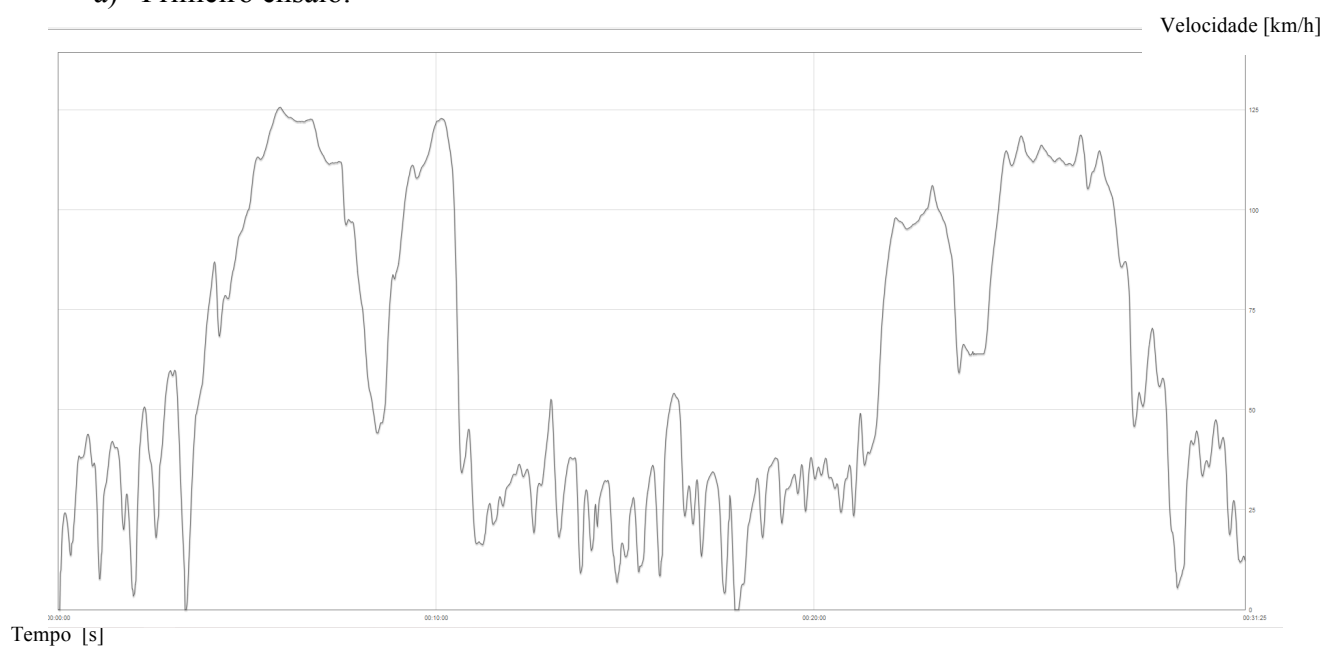
Ensaio	Velocidade máxima (Km/h)	Velocidade média (Km/h)	Duração (hh:mm:ss)	Distância (Km)
1	116,9	51,3	00:36:25	31,10
2	125,5	59,4	00:31:25	31,11
3	120,9	50,6	00:35:20	29,81
4	123,5	52,4	00:35:37	31,10

Durante a realização dos ensaios, existiu a preocupação de eliminar ao máximo todas as variáveis que pudessem influenciar os resultados, realizando sempre o mesmo percurso, no mesmo dia, com o mesmo condutor, o mesmo veículo, condições atmosféricas semelhantes e as mesmas condições

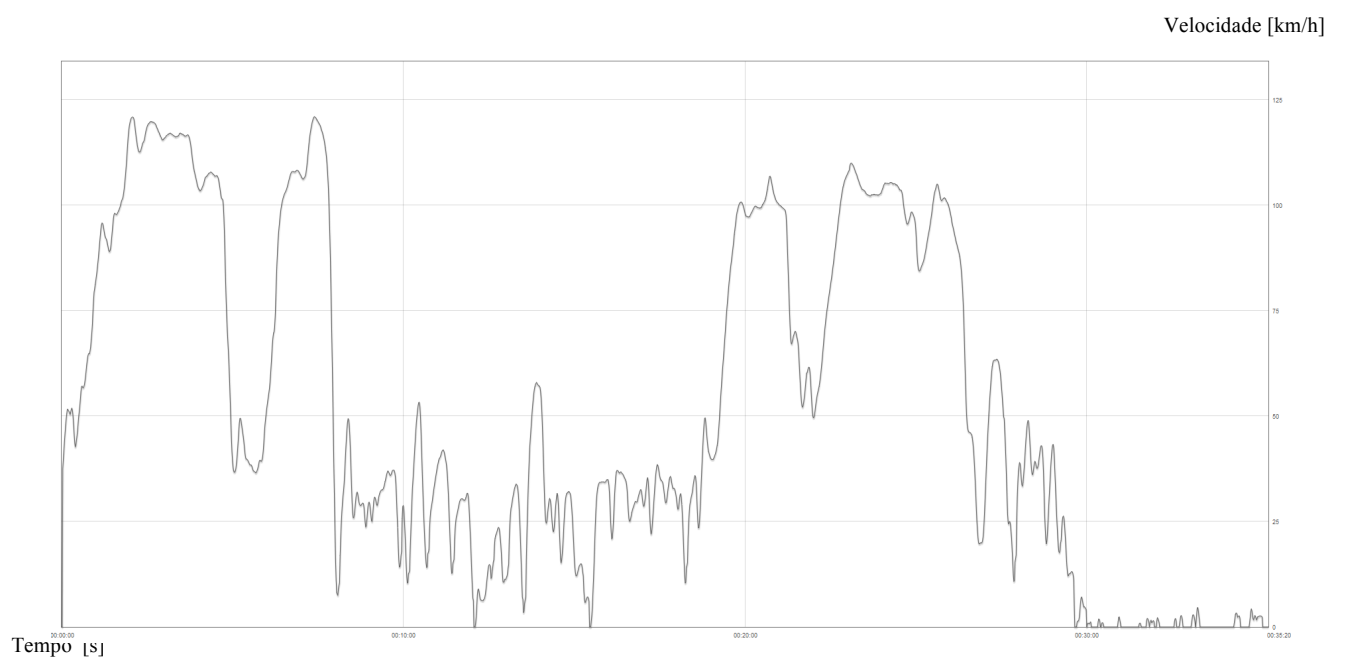
de trânsito. Deste modo, foi possível manter-se um perfil constante e coerente entre os quatro ensaios, como pode ser constatado na Figura 9.



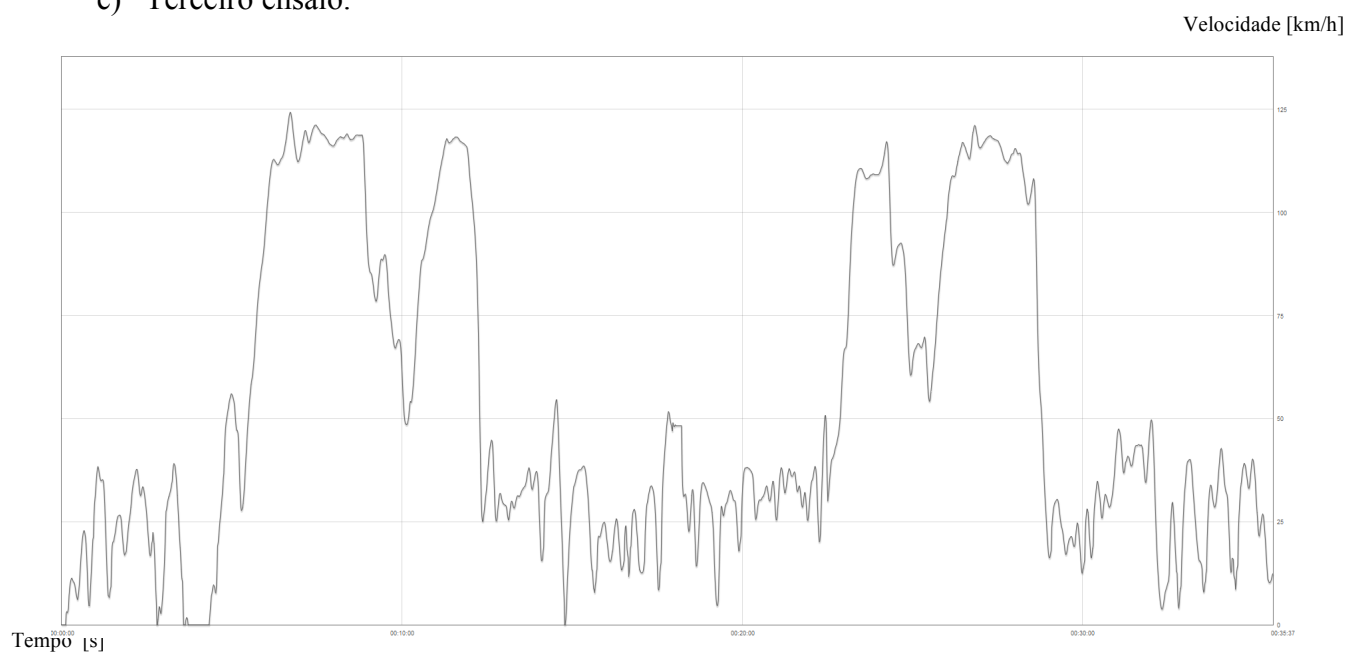
a) Primeiro ensaio.



b) Segundo ensaio.



c) Terceiro ensaio.



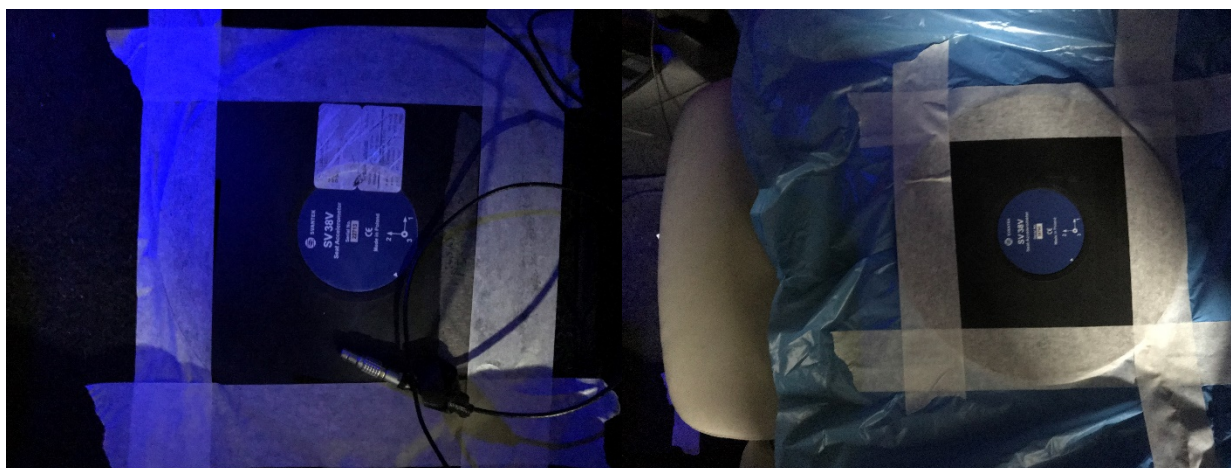
d) Quarto ensaio.

Figura 9 – Perfil de velocidade nos quatro ensaios.

4.2 Posicionamento do Acelerômetro (sensores) e do Sonômetro

Para a obtenção de valores, foi necessário efetuar uma preparação prévia dos sensores do acelerômetro, bem como a colocação do sonômetro no veículo utilizado para o ensaio.

Assim sendo, relativamente aos sensores do acelerômetro, os mesmos foram colocados como anteriormente indicado na Figura 5 e agora apresentado na Figura 10.



a) Sensor colocado no piso do veículo.

b) Sensor colocado no assento do condutor.

Figura 10 – Posicionamento das “bolachas” do acelerómetro.

Foi levada em consideração a posição dos eixos, de acordo com a norma NP ISO 2631-1:2007 [34] sendo que o eixo 1 corresponde ao eixo do X (frente/atrás), o eixo 2 corresponde ao eixo do Y (movimentos laterais-esquerda/direita) e o eixo 3 corresponde ao eixo Z (movimento vertical).



Figura 11 – Vista do conjunto dos sensores.

Relativamente ao sonómetro, foi utilizada uma bolsa para colocar no seu interior o sonómetro, e a mesma foi colocada à volta do assento do condutor, de modo a que o microfone do equipamento ficasse a uma distância máxima de 10 cm da orelha direita do condutor (Figura 12).



Figura 12 – Posicionamento do sonómetro.

4.3 Resultados obtidos

Com vista à melhor compreensão, entendimento e interpretação dos resultados obtidos pelos aparelhos, foi realizado manualmente uma identificação das irregularidades do piso encontradas ao longo do percurso.

A identificação manual encontra-se elencada nas próximas Tabelas 5 a 8, sendo que se encontra separada por ensaio.

Tabela 5 – Identificação dos defeitos do piso percorrido no 1º ensaio.

1º Ensaio			
Tipo de defeito	Tempo	Tipo de defeito	Tempo
Grelha	11:31	Buraco	11:49
Grelha	11:31	Tampa de esgoto	11:49
Piso em paralelo	11:31	Piso em paralelo	11:50
Piso normal	11:32	Paragem (cruzamento)	11:50
Paragem (passadeira)	11:33	Piso normal	11:50
Tampa de esgoto	11:33	Piso em paralelo	11:50
Paragem	11:33	Tampa de esgoto	11:51
Paragem (semáforos)	11:35	Piso irregular	11:51
Buraco	11:35	Tampa de esgoto	11:51
Buraco	11:35	Tampa de esgoto	11:52
Lombas	11:36	Tampa de esgoto	11:52
Piso irregular	11:36	Lombas	11:53
Autoestrada	11:36	Piso normal	11:53
Piso irregular	11:40	Paragem (rotunda)	11:54
Piso em paralelo	11:40	Autoestrada	11:54
Piso em paralelo	11:43	Faixa metálica	11:55
Tampa de esgoto	11:45	Piso irregular	11:56
Piso normal	11:45	Piso irregular	11:58
Grelha	11:45	Piso irregular	11:59
Tampa de esgoto	11:46	Buraco	12:01
Paragem (cruzamento)	11:46	Travagem	12:01
Tampa de esgoto	11:47	Buraco	12:02
Lombas	11:48	Tampa de esgoto	12:02
Tampa de esgoto	11:48	Tampa de esgoto	12:02
Paragem (cruzamento)	11:48	Paragem (cruzamento)	12:02
Piso normal	11:48	Paragem	12:04
Piso irregular	11:48	Grelha	12:04
Buraco	11:48	Grelha	12:04
Lombas	11:49		

Tabela 6 – Identificação dos defeitos do piso percorrido no 2º ensaio.

2º Ensaio			
Tipo de defeito	Tempo	Tipo de defeito	Tempo
Grelha	12:30	Paragem (cruzamento)	12:46
Grelha	12:30	Piso normal	12:46
Piso em paralelo	12:30	Tampa de esgoto	12:46
Piso normal	12:30	Tampa de esgoto	12:47
Paragem	12:31	Diminuição de velocidade	12:47
Tampa de esgoto	12:32	Piso em paralelo	12:47
Paragem	12:32	Paragem (cruzamento)	12:48
Buraco	12:33	Piso em paralelo	12:48
Lombas	12:33	Paragem (cruzamento)	12:48
Paragem (semáforo)	12:33	Tampa de esgoto	12:49
Autoestrada	12:34	Tampa de esgoto	12:49
Travagem	12:34	Tampa de esgoto	12:50
Faixa metálica	12:35	Lombas	12:51
Travagem	12:38	Piso normal	12:51
Piso irregular	12:38	Autoestrada	12:52
Faixa metálica	12:40	Faixa metálica	12:52
Saída autoestrada	12:41	Piso irregular	12:56
Diminuição de velocidade	12:41	Faixa metálica	12:56
Piso em paralelo	12:41	Piso irregular	12:56
Tampa de esgoto	12:42	Buraco	12:57
Tampa de esgoto	12:42	Saída autoestrada	12:58
Paragem (cruzamento)	12:43	Diminuição de velocidade	12:59
Piso normal	12:43	Paragem (passadeira)	13:00
Piso em paralelo	12:43	Tampa de esgoto	13:00
Tampa de esgoto	12:44	Tampa de esgoto	13:00
Paragem	12:44	Tampa de esgoto	13:01
Paragem (cruzamento)	12:44	Piso em paralelo	13:01
Diminuição de velocidade	12:45	Grelha	13:02
Lombas	12:45		

Tabela 7 – Identificação dos defeitos do piso percorrido no 3º ensaio.

3º Ensaio			
Tipo de defeito	Tempo	Tipo de defeito	Tempo
Grelha	16:28	Tampa de esgoto	16:46
Grelha	16:28	Lombas	16:46
Piso em paralelo	16:28	Diminuição de velocidade	16:47
Piso normal	16:29	Piso em paralelo	16:47
Tampa de esgoto	16:29	Diminuição de velocidade	16:47
Paragem (cruzamento)	16:29	Paragem (cruzamento)	16:48
Tampa de esgoto	16:30	Piso em paralelo	16:48
Paragem	16:30	Tampa de esgoto	16:48
Tampa de esgoto	16:30	Tampa de esgoto	16:49
Paragem (semáforos)	16:31	Lombas	16:50
Buraco	16:32	Paragem	16:50
Lombas	16:33	Piso normal	16:51
Autoestrada	16:33	Faixa metálica	16:51
Faixa metálica	16:35	Autoestrada	16:52
Faixa metálica	16:36	Faixa metálica	16:52
Diminuição de velocidade	16:37	Piso irregular	16:54
Piso irregular	16:37	Faixa de aviso sonoro (autoestrada)	16:55
Faixa de aviso sonoro (autoestrada)	16:39	Piso irregular	16:56
Faixa metálica	16:40	Faixa metálica	16:57
Paragem (rotunda)	16:40	Piso irregular	16:58
Piso em paralelo	16:41	Saída autoestrada	16:59
Lombas	16:41	Diminuição de velocidade	16:59
Paragem	16:42	Tampa de esgoto	17:00
Piso normal	16:43	Paragem (cruzamento)	17:00
Piso em paralelo	16:43	Tampa de esgoto	17:01
Diminuição de velocidade	16:43	Tampa de esgoto	17:01
Diminuição de velocidade	16:44	Tampa de esgoto	17:01
Paragem (cruzamento)	16:44	Tampa de esgoto	17:01
Lombas	16:45	Piso em paralelo	17:01
Paragem (cruzamento)	16:46	Grelha	17:02
Piso normal	16:46		

Tabela 8 – Identificação dos defeitos do piso percorrido no 4º ensaio.

4º Ensaio			
Tipo de defeito	Tempo	Tipo de defeito	Tempo
Grelha	17:10	Lombas	17:26
Grelha	17:10	Paragem (cruzamento)	17:27
Piso em paralelo	17:10	Piso normal	17:27
Piso normal	17:10	Tampa de esgoto	17:27
Paragem	17:11	Lombas	17:27
Tampa de esgoto	17:11	Paragem (cruzamento)	17:28
Tampa de esgoto	17:12	Piso em paralelo	17:28
Paragem (cruzamento)	17:12	Paragem (cruzamento)	17:29
Paragem (semáforos)	17:13	Piso normal	17:29
Buraco	17:14	Piso em paralelo	17:29
Lombas	17:14	Tampa de esgoto	17:29
Paragem (semáforos)	17:15	Tampa de esgoto	17:30
Autoestrada	17:15	Lombas	17:31
Faixa metálica	17:16	Piso normal	17:32
Faixa metálica	17:17	Autoestrada	17:32
Faixa de aviso sonoro (autoestrada)	17:17	Piso irregular	17:33
Faixa metálica	17:18	Faixa metálica	17:33
Piso irregular	17:19	Piso irregular	17:34
Faixa metálica	17:21	Faixa metálica	17:36
Faixa metálica	17:21	Faixa metálica	17:38
Faixa metálica	17:21	Diminuição de velocidade	17:38
Faixa metálica	17:21	Faixa de aviso sonoro (autoestrada)	17:40
Paragem (rotunda)	17:22	Paragem (trânsito)	17:41
Piso em paralelo	17:22	Paragem (trânsito)	17:42
Tampa de esgoto	17:23	Paragem (cruzamento)	17:44
Lombas	17:23	Tampa de esgoto	17:44
Diminuição de velocidade	17:23	Tampa de esgoto	17:44
Piso normal	17:24	Tampa de esgoto	17:44
Piso em paralelo	17:24	Piso em paralelo	17:44
Paragem (cruzamento)	17:24	Grelha	17:45

A amarelo, em cada uma das tabelas relativas aos valores dos ensaios, destacam-se as irregularidades detetadas pela visualização direta, e que, com maior facilidade, se conseguem identificar nos espectros de ruído e aceleração.

Os valores obtidos pelo acelerómetro, referentes aos ensaios realizados apresentam-se nas Figuras 13 a 16, abaixo apresentadas.

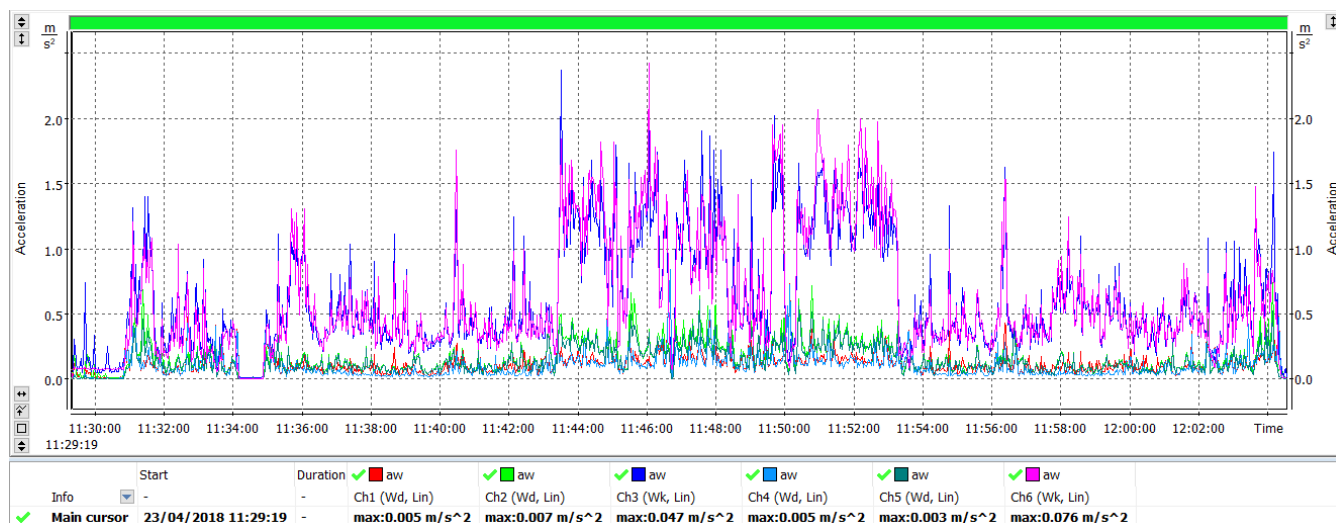


Figura 13 – Valores de acelerações obtidas no 1º ensaio.

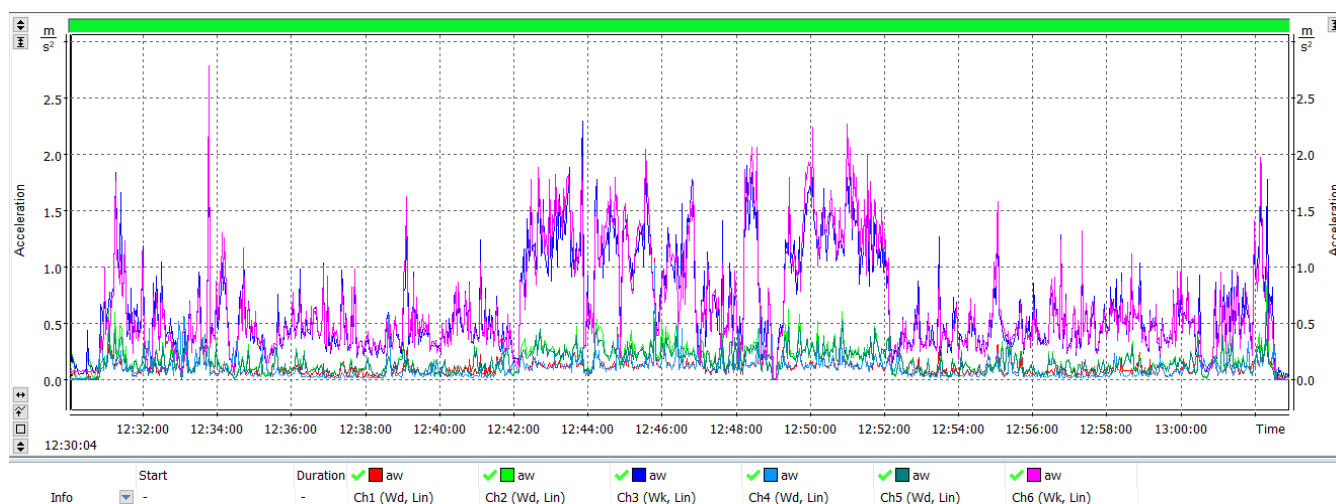


Figura 14 – Valores de acelerações obtidas no 2º ensaio.

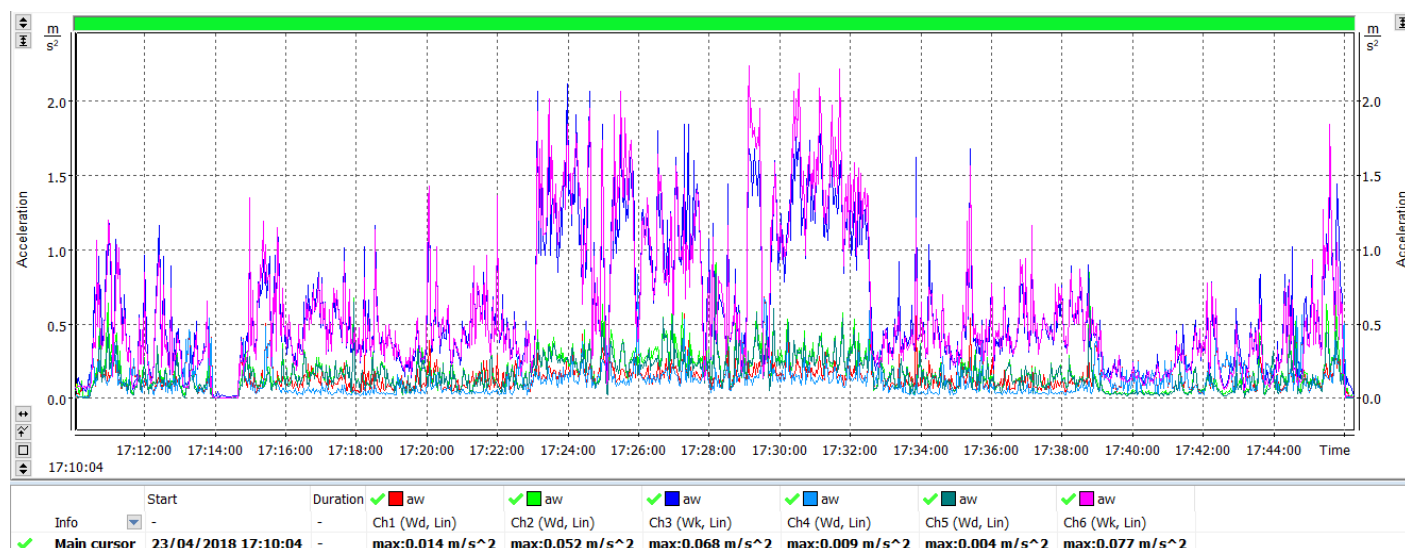


Figura 15 – Valores de acelerações obtidas no 3º ensaio.

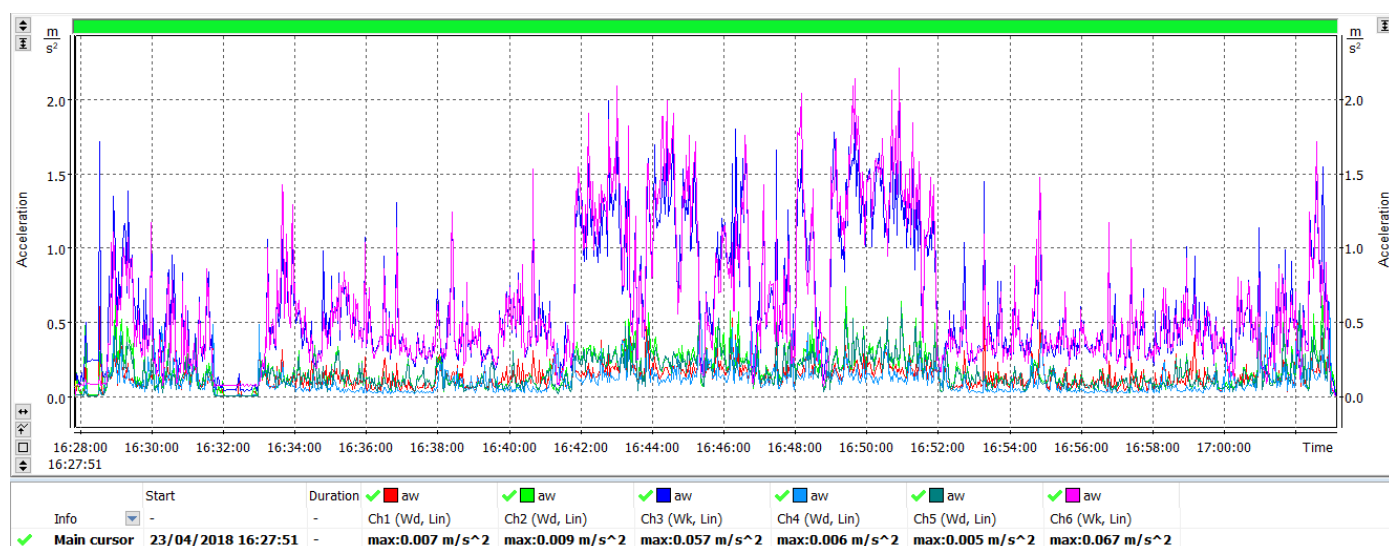


Figura 16 – Valores de acelerações obtidas no 4º ensaio.

Relativamente aos valores obtidos pelo sonómetro, os mesmos apresentam-se nas Figuras 17 a 20.

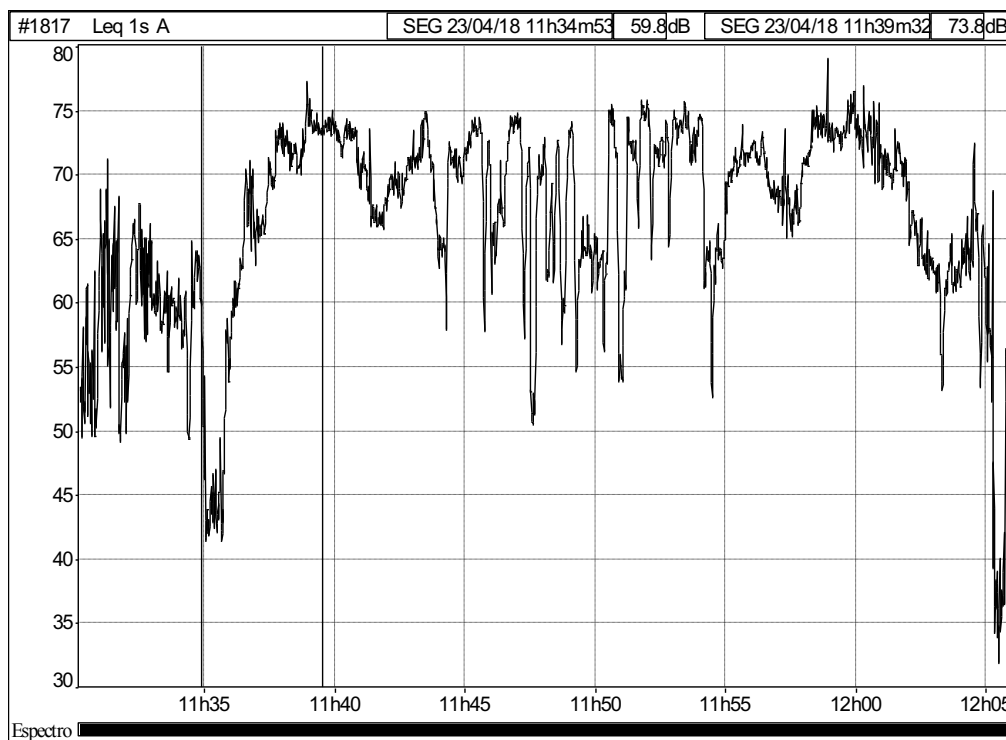


Figura 17 – Valores de ruído para o 1º ensaio.

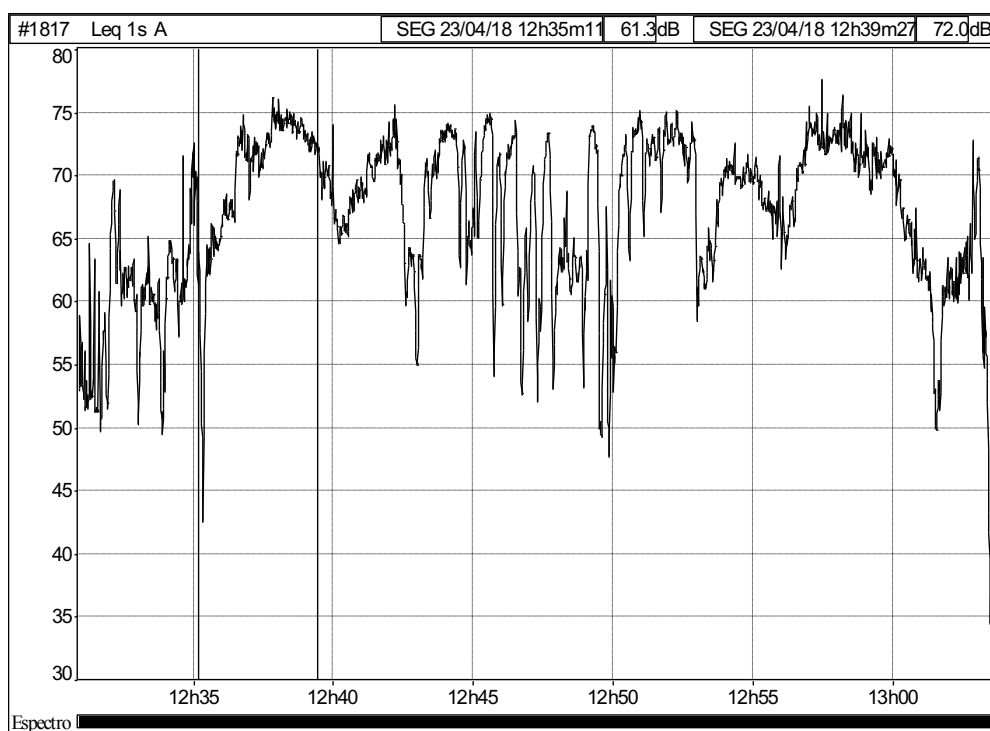


Figura 18 – Valores de ruído para o 2º ensaio.

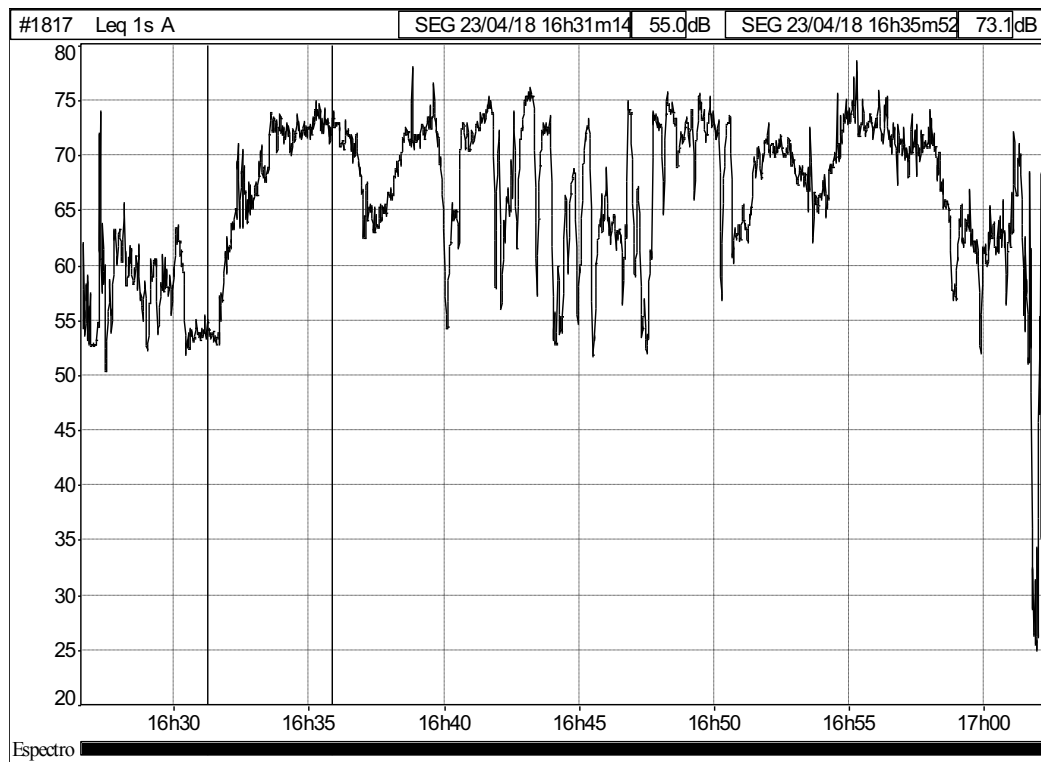


Figura 19 - Valores de ruído para o 3º ensaio.

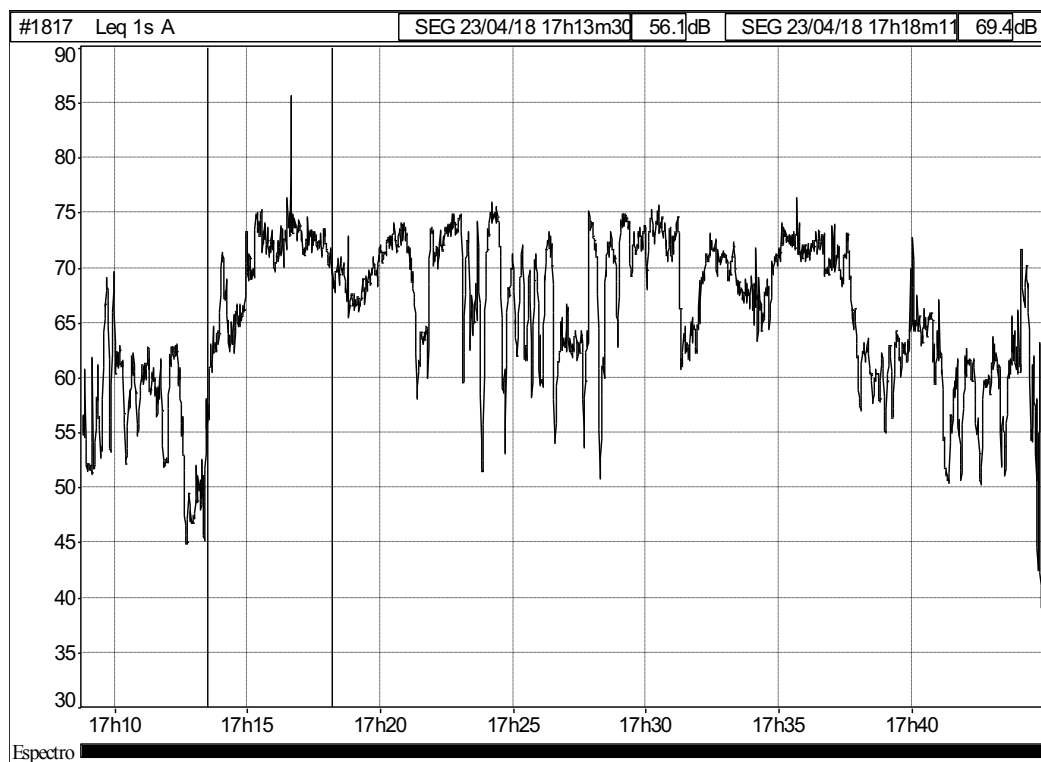


Figura 20 - Valores de ruído para o 4º ensaio.

4.4 Representação das irregularidades nos espectros de ruído e de vibração

Através do cruzamento dos dados obtidos pela análise visual com os espectros das acelerações e do ruído, apresentam-se as irregularidades mais significativas que foram passíveis de identificar visualmente e a sua correspondente representação nos espectros do ruído e das acelerações.

4.4.1 Irregularidades do piso identificadas no espectro de ruído

Relativamente ao espectro de ruído, as irregularidades identificadas estão apresentadas nas cores assinaladas na legenda do respetivo gráfico.

1º Ensaio

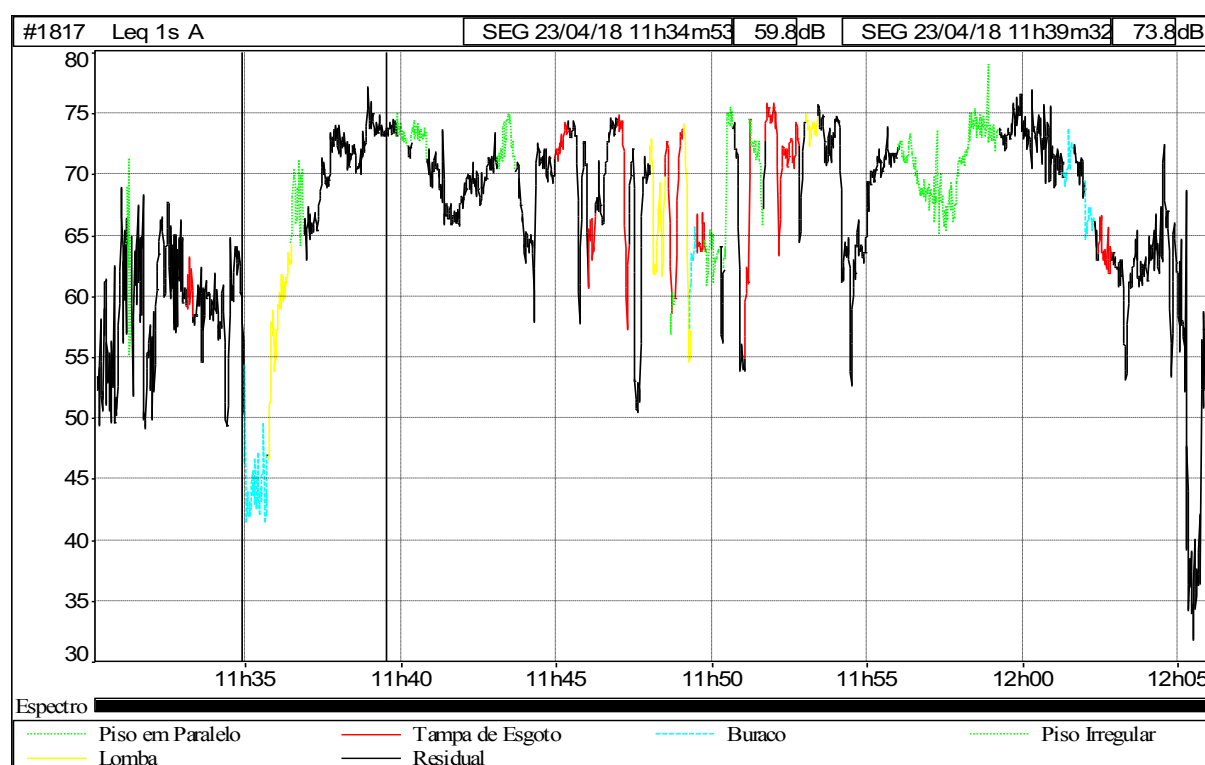


Figura 21 – Irregularidades identificadas no espectro de ruído (1º Ensaio).

2º Ensaio

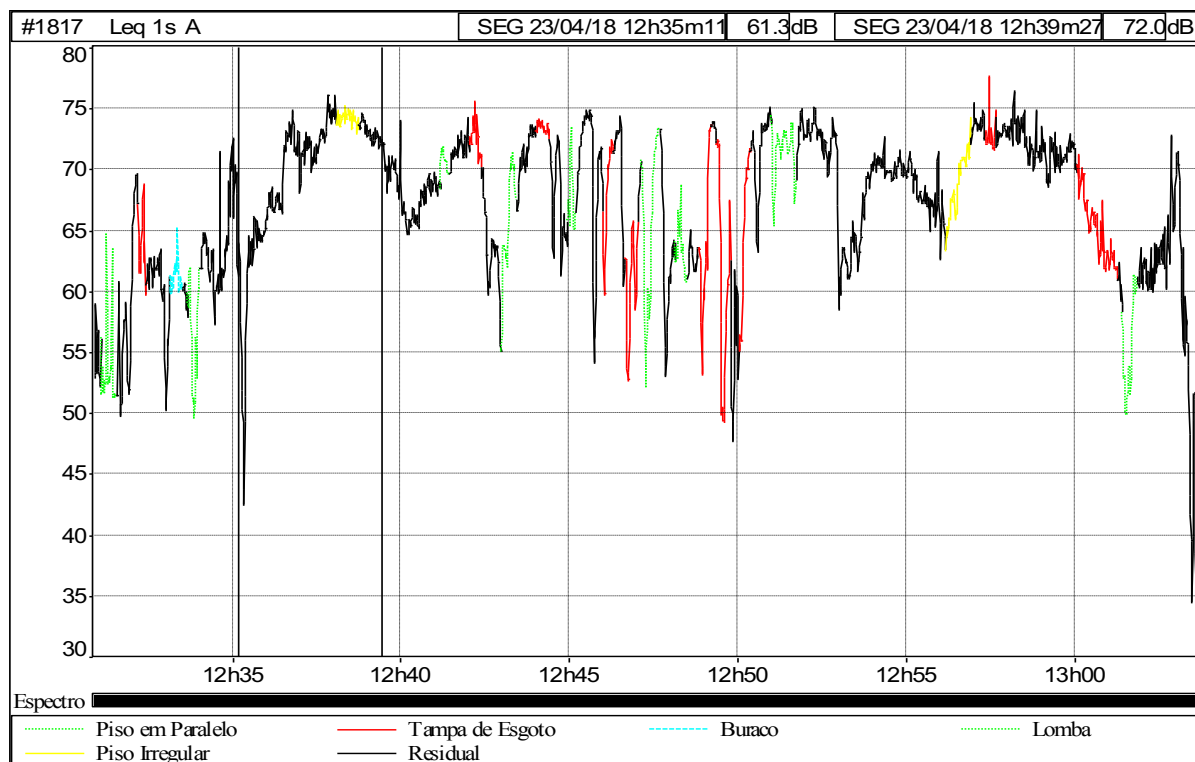


Figura 22 – Irregularidades identificadas no espectro de ruído (2º Ensaio).

3º Ensaio

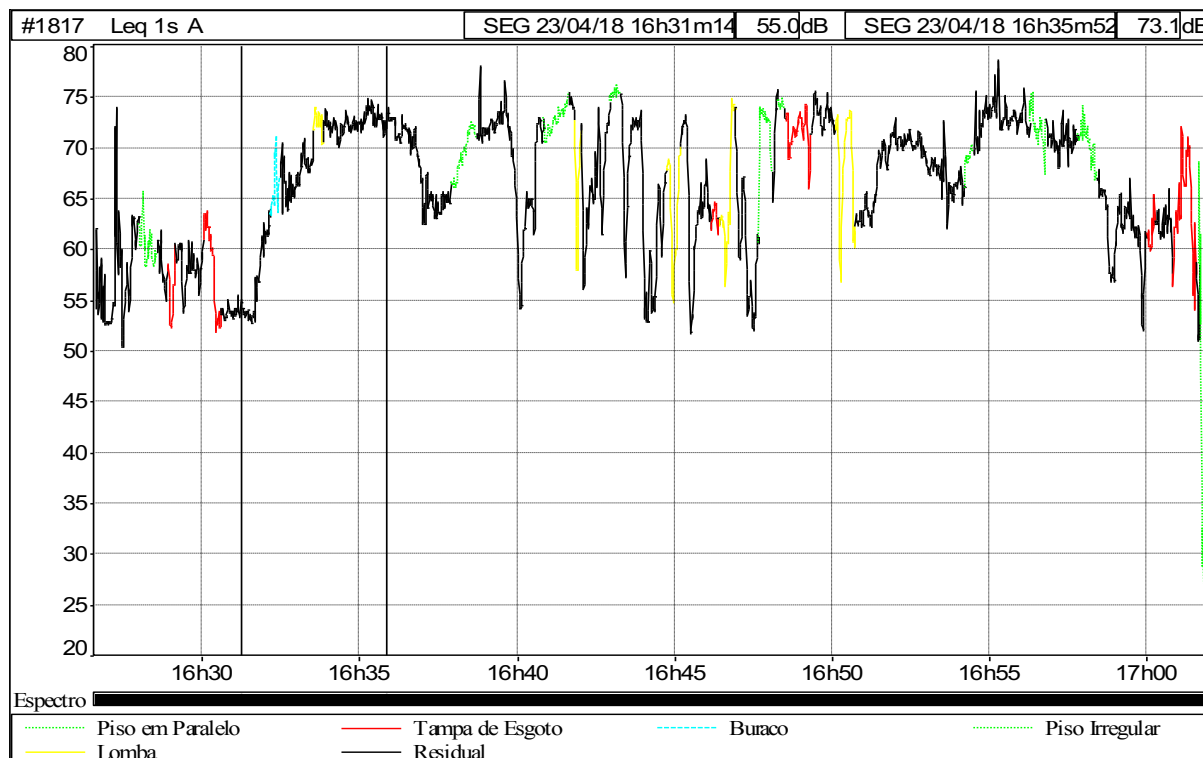


Figura 23 – Irregularidades identificadas no espectro de ruído (3º Ensaio).

4º Ensaio

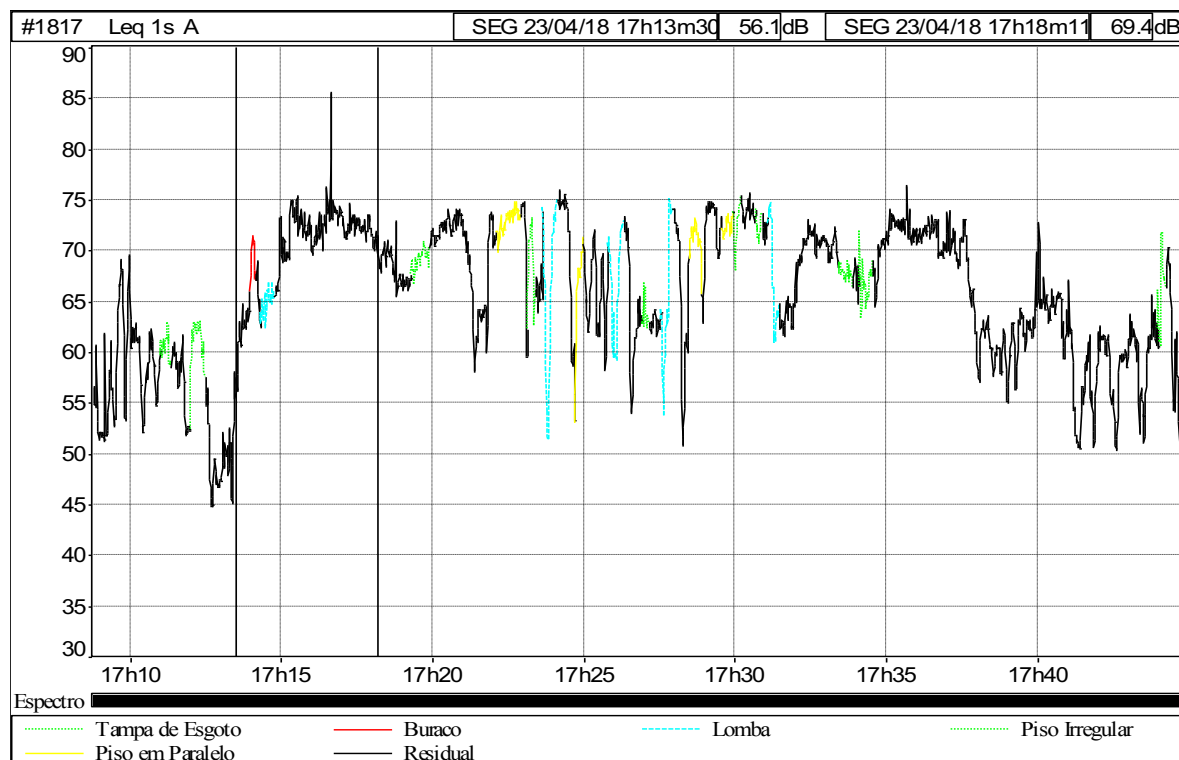


Figura 24 – Irregularidades identificadas no espectro de ruído (4º Ensaio).

4.4.2 Irregularidades identificadas no espectro das acelerações

Relativamente ao espectro das acelerações, as irregularidades identificadas relativas ao piso irregular ou em paralelo, apresentam-se integradas nos respectivos gráficos.

1º Ensaio

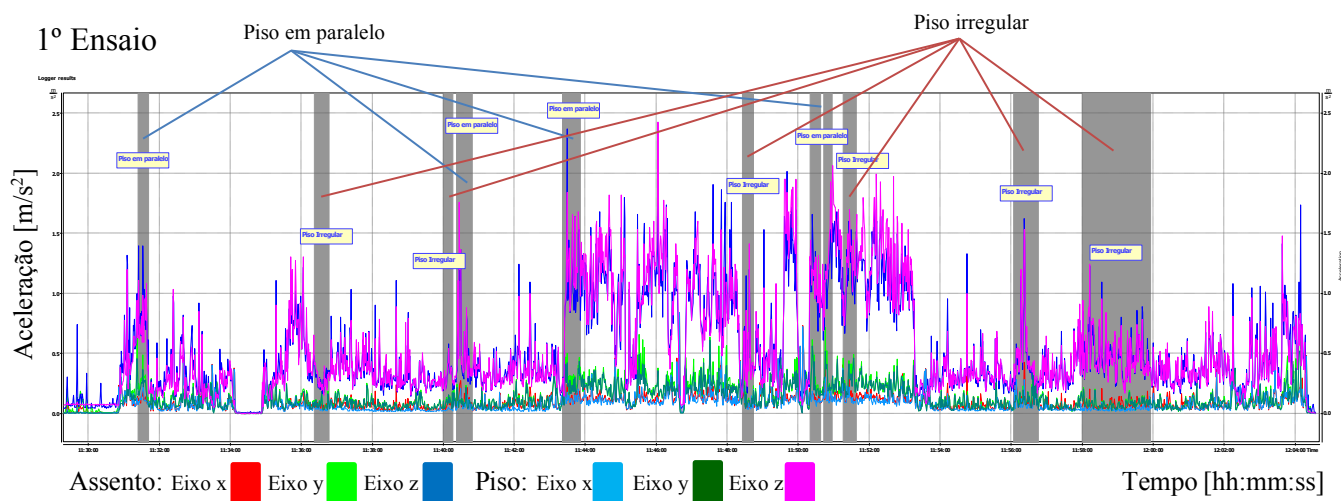


Figura 25 – Irregularidades identificadas no espectro das acelerações (1º Ensaio).

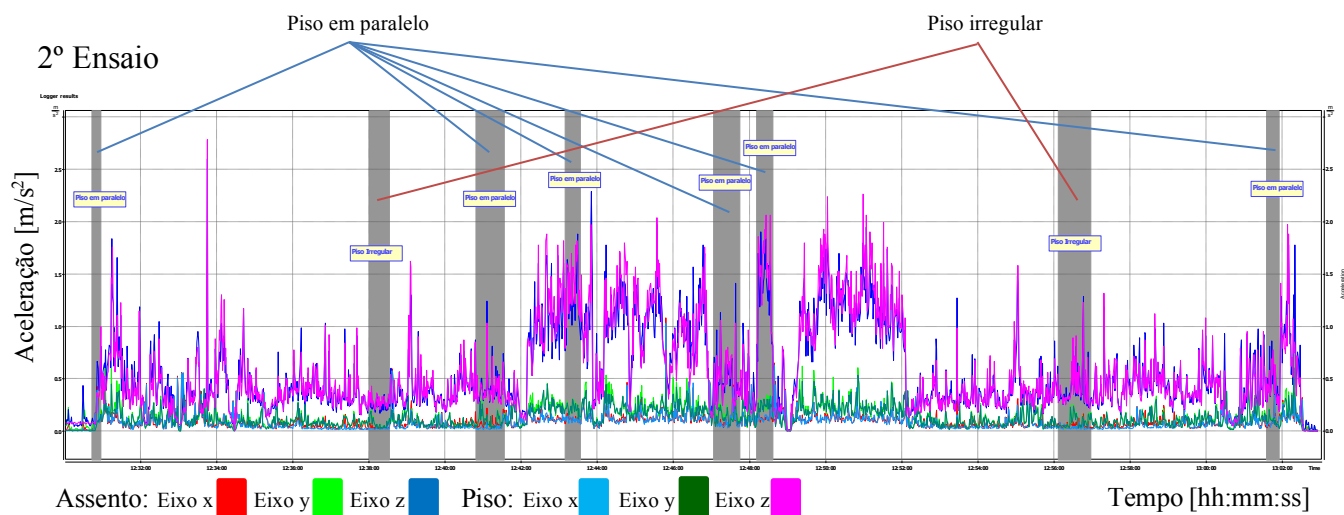


Figura 26 – Irregularidades identificadas no espectro das acelerações (2º Ensaio).

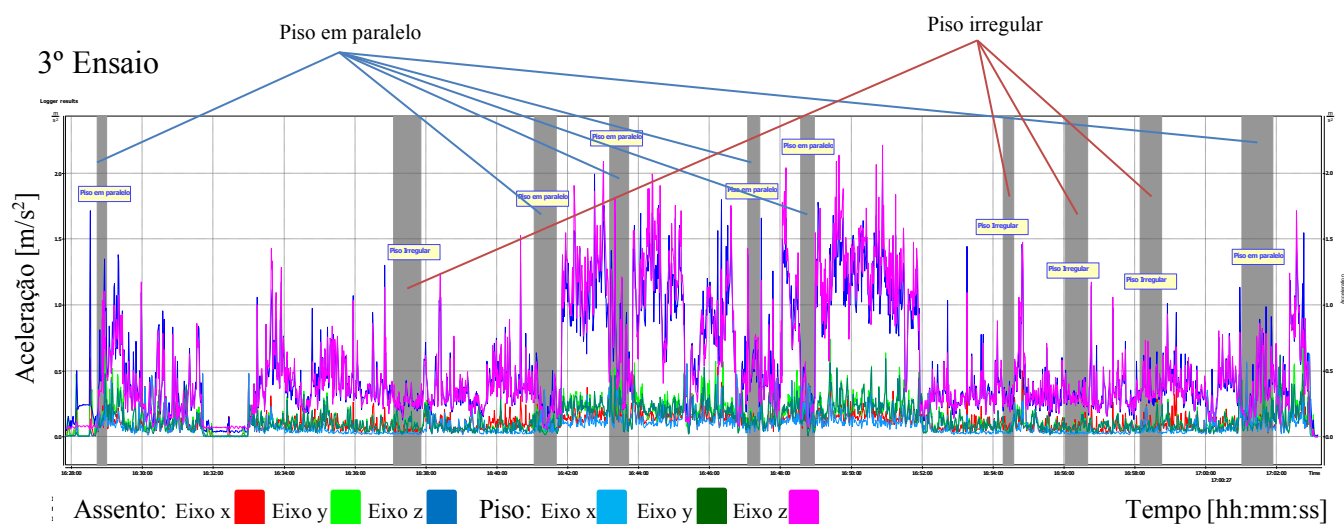


Figura 27 – Irregularidades identificadas no espectro das acelerações (3º Ensaio).

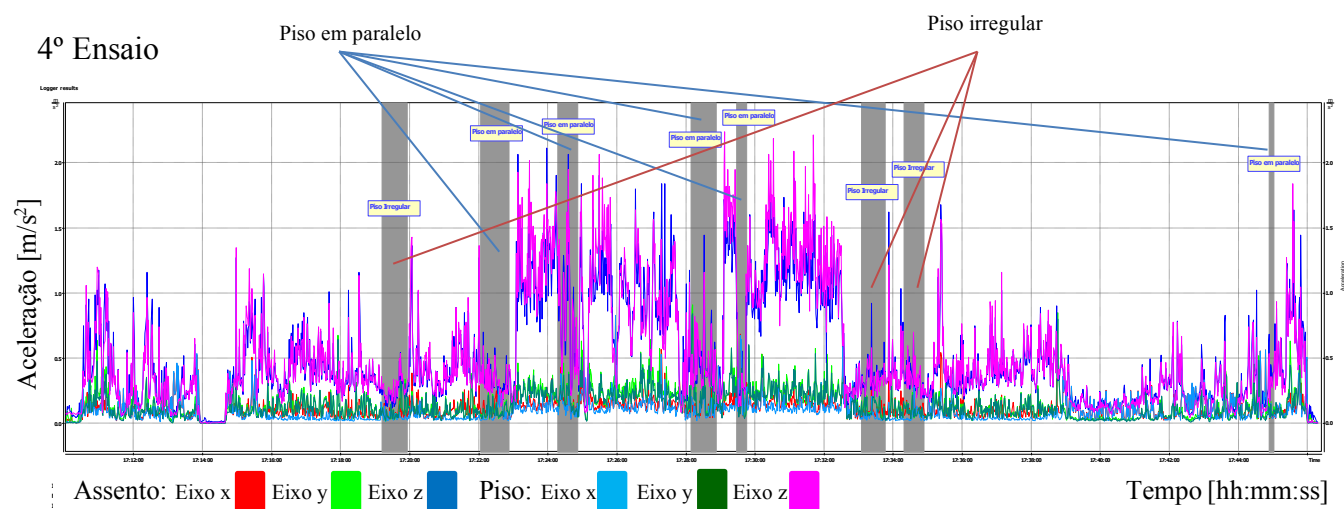


Figura 28 – Irregularidades no espectro de vibrações (4º Ensaio).

Os valores das irregularidades relativas a buracos, lombas e tampas de esgoto são apresentadas sob a forma de tabelas, para mais fácil visualização, e também porque, como as irregularidades relativas ao tipo de piso (Piso em paralelo ou piso irregular), não apresentam um valor objetivo, mas sim uma gama de valores, como se pode ver nas Figuras 25 a 28 dos gráficos das acelerações, foi unicamente colocado em tabela, as irregularidades relativas a buracos, lombas e tampas de esgotos para se poder efetuar uma comparação entre as acelerações e o ruído.

Assim sendo, relativamente aos quatro ensaios, os valores obtidos para as acelerações medidas pelos 6 canais (3 do assento e 3 do piso) e a sua relação com o ruído para o mesmo período de tempo, são:

Tabela 9 – Relação entre acelerações e ruído por tipo de irregularidade no 1º ensaio.

Date & time	ASSENTO			PISO			Tipo de Irregularidade	Ruído Leq
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6		
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]		dB (A)
23/04/2018 11:33:07	0,0759	0,2265	0,9226	0,0646	0,2265	0,8511	Tampa de esgoto	59,2
23/04/2018 11:35:17	0,1603	0,3350	1,1092	0,1072	0,3236	0,9016	Buraco	43,5
23/04/2018 11:35:42	0,1274	0,0708	1,0471	0,0724	0,0741	1,3032	Buraco	41,4
23/04/2018 11:36:03	0,1109	0,2065	1,2162	0,1047	0,1799	1,3032	Lombas	59,3
23/04/2018 11:45:06	0,1905	0,2570	1,7989	0,1718	0,2213	1,3032	Tampa de esgoto	71,9
23/04/2018 11:46:03	0,1698	0,3802	1,9275	0,1175	0,3589	2,4266	Tampa de esgoto	63,6
23/04/2018 11:47:06	0,1884	0,3428	1,6788	0,1135	0,2570	1,4622	Tampa de esgoto	74,1
23/04/2018 11:48:07	0,1462	0,2371	1,7579	0,0912	0,2018	1,2023	Lombas	66,8
23/04/2018 11:48:37	0,1084	0,0933	1,2023	0,0933	0,1084	1,4125	Tampa de esgoto	69,7
23/04/2018 11:48:49	0,0785	0,1718	0,6918	0,0575	0,1622	0,8511	Buraco	59,2
23/04/2018 11:49:02	0,2851	0,4467	1,5311	0,1995	0,3890	1,0471	Lombas	72,9
23/04/2018 11:49:22	0,2113	0,1445	0,9661	0,1862	0,1462	1,0839	Buraco	61,0
23/04/2018 11:49:41	0,1660	0,3715	2,0184	0,1161	0,3631	1,8408	Tampa de esgoto	64,1
23/04/2018 11:50:58	0,1096	0,3090	1,5849	0,1445	0,3126	2,0654	Tampa de esgoto	55,2
23/04/2018 11:51:50	0,1514	0,3020	1,2882	0,1122	0,2692	1,7989	Tampa de esgoto	75,4
23/04/2018 11:52:13	0,1698	0,3508	1,6032	0,1445	0,3055	1,6982	Tampa de esgoto	66,3
23/04/2018 11:52:41	0,1698	0,2692	1,6218	0,1567	0,2692	1,9724	Tampa de esgoto	71,3
23/04/2018 11:53:06	0,1585	0,2818	1,2445	0,1841	0,2754	1,5311	Lombas	74,2
23/04/2018 12:01:34	0,0822	0,0813	0,7674	0,0653	0,0944	0,8913	Buraco	70,3
23/04/2018 12:02:15	0,2138	0,4571	1,0839	0,2483	0,3508	0,8128	Buraco	65,9
23/04/2018 12:02:47	0,2630	0,1096	1,0471	0,2723	0,1096	0,9661	Tampa de esgoto	61,9
23/04/2018 12:02:56	0,1462	0,1950	0,7499	0,1841	0,1820	0,6095	Tampa de esgoto	63,4

Tabela 10 – Relação entre acelerações e ruído por tipo de irregularidade no 2º ensaio.

Date & time	ASSENTO			PISO			Tipo de Irregularidade	Ruído Leq
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6		
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]		dB (A)
23/04/2018 12:32:29	0,0750	0,1135	1,0471	0,1000	0,1047	0,8810	Tampa de esgoto	61,1
23/04/2018 12:33:45	0,1995	0,2600	2,6002	0,2089	0,2786	2,7861	Buraco	59,8
23/04/2018 12:33:58	0,0617	0,2985	0,7852	0,0372	0,2692	0,8810	Lombas	56,1
23/04/2018 12:42:27	0,1216	0,2985	1,6032	0,1059	0,2512	1,7783	Tampa de esgoto	70,1
23/04/2018 12:42:40	0,1479	0,3162	1,6788	0,1758	0,3055	1,8836	Tampa de esgoto	60,9
23/04/2018 12:44:14	0,1429	0,5370	1,7783	0,1758	0,4467	1,4622	Tampa de esgoto	73,6
23/04/2018 12:45:34	0,1514	0,2570	1,9724	0,1479	0,2483	2,0417	Lombas	74,4
23/04/2018 12:46:47	0,1496	0,2163	1,7783	0,1288	0,2239	1,4125	Tampa de esgoto	53,4
23/04/2018 12:47:38	0,2317	0,4169	1,4125	0,1972	0,3548	1,0351	Tampa de esgoto	72,7
23/04/2018 12:49:26	0,1161	0,1549	1,4622	0,0902	0,1585	1,7989	Tampa de esgoto	71,8
23/04/2018 12:49:57	0,1122	0,1972	1,6596	0,1122	0,2113	1,9275	Tampa de esgoto	55,5
23/04/2018 12:50:03	0,1679	0,3162	1,7989	0,1429	0,3350	2,2387	Tampa de esgoto	55,7
23/04/2018 12:50:59	0,1479	0,1641	1,7989	0,1072	0,1841	2,2646	Lombas	74,8
23/04/2018 12:57:19	0,1622	0,0794	1,1885	0,0750	0,0881	1,3183	Buraco	74,4
23/04/2018 13:00:10	0,0902	0,1175	0,8810	0,0891	0,0989	0,9120	Tampa de esgoto	69,0
23/04/2018 13:00:29	0,1603	0,4074	0,9333	0,2018	0,3273	0,5754	Tampa de esgoto	64,9
23/04/2018 13:01:22	0,0881	0,3890	0,9772	0,1274	0,3631	0,5623	Tampa de esgoto	59,2

Tabela 11 – Relação entre acelerações e ruído por tipo de irregularidade no 3º ensaio.

Date & time	ASSENTO			PISO			Tipo de Irregularidade	Ruído Leq
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6		
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]		dB (A)
23/04/2018 16:29:19	0,2213	0,4519	1,3804	0,1679	0,3236	0,9226	Tampa de esgoto	60,6
23/04/2018 16:30:34	0,1230	0,0944	0,9550	0,0989	0,0944	0,7852	Tampa de esgoto	52,3
23/04/2018 16:30:51	0,1189	0,1413	0,8318	0,1161	0,1318	0,7762	Tampa de esgoto	55,0
23/04/2018 16:32:26	0,1549	0,0132	0,1496	0,0090	0,0047	0,0741	Buraco	63,4
23/04/2018 16:33:40	0,1738	0,1012	1,1220	0,1679	0,1023	1,3335	Lombas	73,1
23/04/2018 16:40:40	0,3090	0,1012	1,3183	0,0668	0,1047	1,5311	Lombas	72,4
23/04/2018 16:45:02	0,2512	0,3020	1,6596	0,1718	0,2851	1,7579	Lombas	59,8
23/04/2018 16:46:20	0,4169	0,2089	1,7989	0,3758	0,1622	0,8222	Tampa de esgoto	64,5
23/04/2018 16:46:36	0,2113	0,2371	1,7378	0,1035	0,2265	1,7579	Lombas	61,1
23/04/2018 16:48:09	0,1429	0,1884	1,6596	0,1259	0,2089	2,0417	Tampa de esgoto	64,6
23/04/2018 16:49:04	0,1928	0,2570	1,7783	0,1514	0,2754	1,3804	Tampa de esgoto	72,5
23/04/2018 16:50:53	0,1905	0,1884	2,0184	0,1122	0,2213	2,2131	Lombas	62,8
23/04/2018 17:00:58	0,2754	0,4842	1,1350	0,2851	0,3589	0,7943	Tampa de esgoto	63,6
23/04/2018 17:01:26	0,0966	0,1135	0,7586	0,0923	0,0966	0,7674	Tampa de esgoto	63,7
23/04/2018 17:01:31	0,1148	0,1549	0,8913	0,1216	0,1303	0,8610	Tampa de esgoto	55,4
23/04/2018 17:01:42	0,1429	0,1799	0,9886	0,1096	0,1718	0,7852	Tampa de esgoto	58,5
23/04/2018 17:01:51	0,1462	0,2455	0,9120	0,1514	0,2399	0,6839	Tampa de esgoto	26,5

Tabela 12 – Relação entre acelerações e ruído por tipo de irregularidade no 4º ensaio.

Date & time	ASSENTO			PISO			Tipo de Irregularidade	Ruído Leq
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6		
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]		dB (A)
23/04/2018 17:11:10	0,1023	0,2985	1,0715	0,2291	0,2291	0,6310	Tampa de esgoto	61,3
23/04/2018 17:12:23	0,1549	0,1334	1,1614	0,1259	0,1135	0,9661	Tampa de esgoto	62,4
23/04/2018 17:14:44	0,2541	0,1318	0,4121	0,2570	0,0871	0,3846	Buraco	66,7
23/04/2018 17:14:58	0,1660	0,2851	1,2735	0,1288	0,2786	1,3490	Lombas	73,2
23/04/2018 17:23:08	0,3055	0,4624	2,0654	0,1396	0,3936	1,9275	Tampa de esgoto	59,5
23/04/2018 17:23:58	0,2786	0,2692	2,1135	0,1603	0,2786	1,8408	Lombas	67,3
23/04/2018 17:26:32	0,2188	0,3467	1,7989	0,1641	0,2884	1,6406	Lombas	61,9
23/04/2018 17:27:04	0,2188	0,2951	1,6218	0,1531	0,2483	1,5488	Tampa de esgoto	66,4
23/04/2018 17:27:18	0,5309	0,2188	1,8408	0,3388	0,1698	0,7852	Lombas	63,3
23/04/2018 17:29:06	0,2371	0,3199	1,7179	0,1585	0,2884	1,9724	Tampa de esgoto	73,6
23/04/2018 17:30:32	0,2138	0,3388	1,7179	0,1245	0,3020	2,1878	Tampa de esgoto	74,0
23/04/2018 17:31:41	0,1549	0,2317	1,5488	0,1334	0,2483	2,2131	Lombas	65,0
23/04/2018 17:44:18	0,0902	0,1175	0,8318	0,0741	0,0955	0,7413	Tampa de esgoto	68,7
23/04/2018 17:44:31	0,1365	0,2541	1,0233	0,1012	0,2371	0,6607	Tampa de esgoto	54,3
23/04/2018 17:44:53	0,1000	0,1660	0,6839	0,0851	0,1230	0,5370	Tampa de esgoto	39,7

5 DISCUSSÃO

5.1 Análise dos resultados

5.1.1 Vibração

De acordo com Chandra, Abagnale e D'Apuzzo (Chandra, S. 2004; Abagnale et al. 2014; D'Apuzzo et al. 2004, 2012) [10][2][12][11], um veículo ao circular numa superfície irregular (criada por vários defeitos nos pavimentos urbanos, incluindo vários tipos de deformação superficial tais como caixas de acesso aos esgotos e aos sistemas de água e telecomunicações (Sadeghi 2010) [42] transmite forças dinâmicas verticais ao pavimento e são geradas vibrações no interior do veículo.

Pelos gráficos obtidos nos ensaios efetuados e de acordo com Sadeghi (Sadeghi 2010) [42] verifica-se que efetivamente existe um aparecimento de vibrações no interior do veículo criado pelas várias irregularidades detetadas.

De seguida, apresentam-se os gráficos (Figura 29 à Figura 32) e respetivas Tabelas (Tabela 13 à Tabela 16) com os valores das acelerações obtidas para as irregularidades detetadas nos 3 canais relativos ao assento.

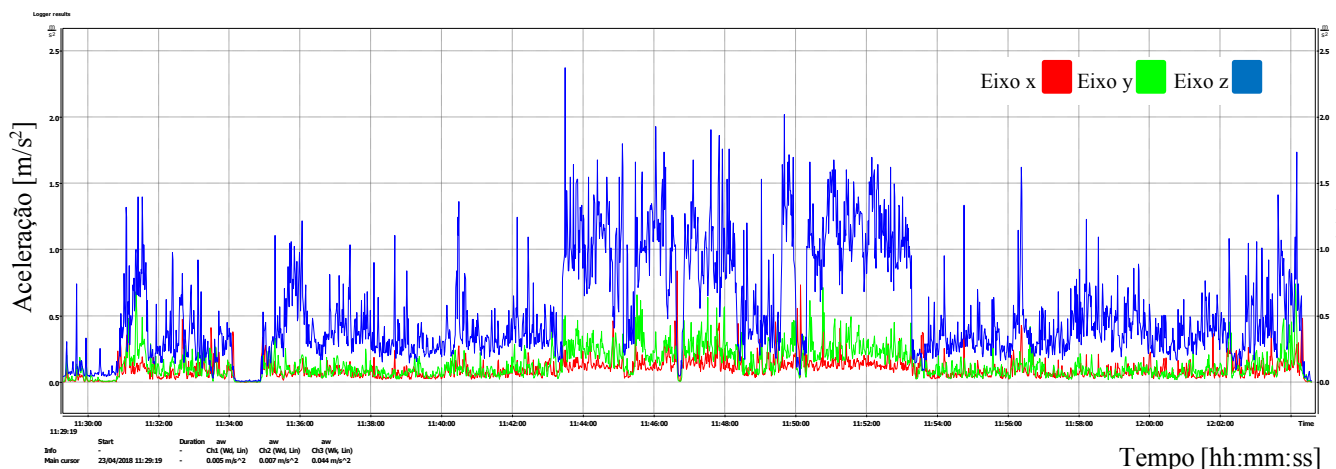


Figura 29 – Irregularidades no espectro de acelerações - Assento (1º Ensaio).

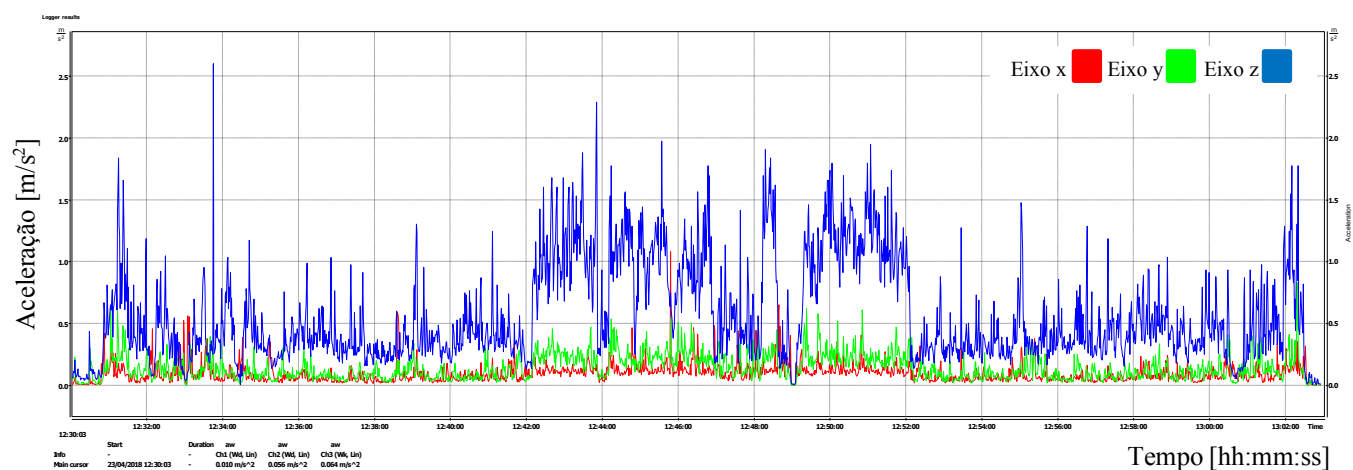


Figura 30 – Irregularidades no espectro de acelerações - Assento (2º Ensaio).

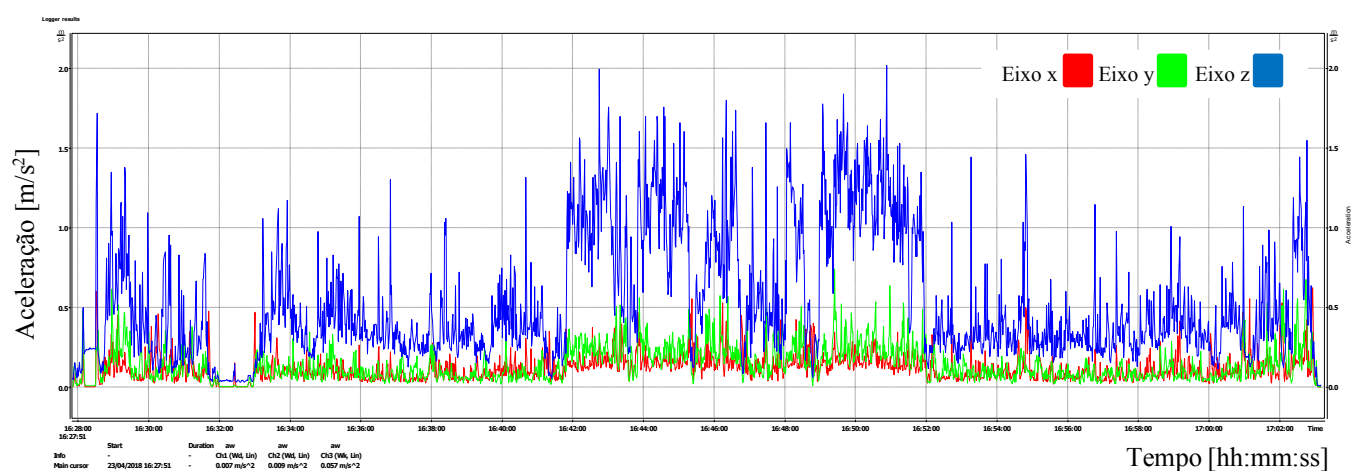


Figura 31 – Irregularidades no espectro de acelerações - Assento (3º Ensaio).

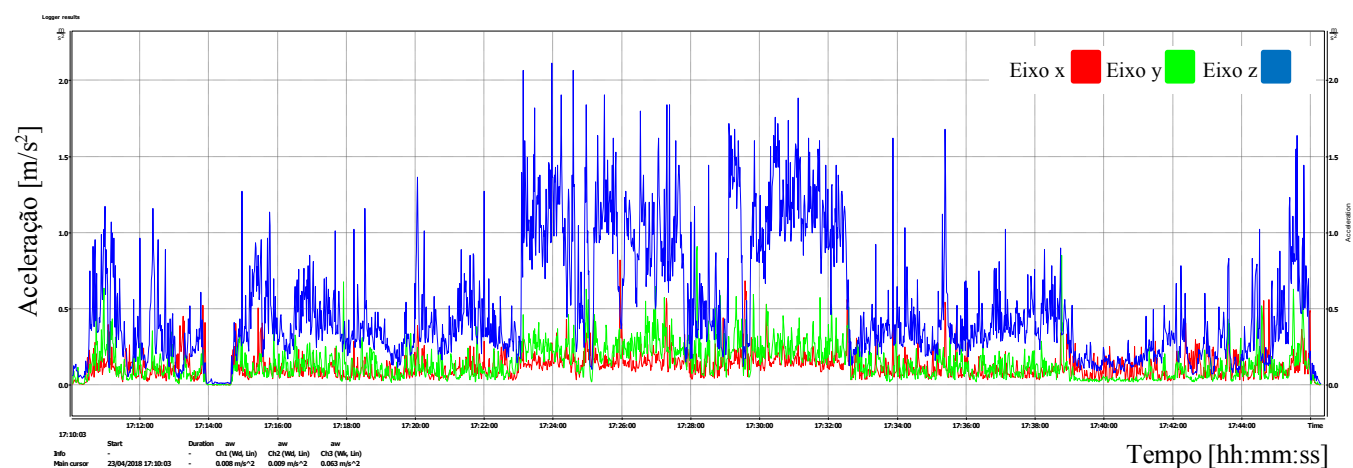


Figura 32 – Irregularidades no espectro de acelerações - Assento (4º Ensaio).

Nas tabelas seguintes (Tabela 13 à Tabela 16), apresentam-se os valores obtidos no assento para os três tipos de irregularidades identificados, separadas por ensaio:

Tabela 13 – Acelerações medidas no assento - 1º ensaio.

Date & time	ASSENTO			Tipo de Irregularidade
	Ch1	Ch2	Ch3	
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	
23/04/2018 11:33:07	0,0759	0,2265	0,9226	Tampa de Esgoto
23/04/2018 11:35:17	0,1603	0,3350	1,1092	Buraco
23/04/2018 11:35:42	0,1274	0,0708	1,0471	Buraco
23/04/2018 11:36:03	0,1109	0,2065	1,2162	Lombas
23/04/2018 11:45:06	0,1905	0,2570	1,7989	Tampa de esgoto
23/04/2018 11:46:03	0,1698	0,3802	1,9275	Tampa de esgoto
23/04/2018 11:47:06	0,1884	0,3428	1,6788	Tampa de esgoto
23/04/2018 11:48:07	0,1462	0,2371	1,7579	Lombas
23/04/2018 11:48:37	0,1084	0,0933	1,2023	Tampa de esgoto
23/04/2018 11:48:49	0,0785	0,1718	0,6918	Buraco
23/04/2018 11:49:02	0,2851	0,4467	1,5311	Lombas
23/04/2018 11:49:22	0,2113	0,1445	0,9661	Buraco
23/04/2018 11:49:41	0,1660	0,3715	2,0184	Tampa de esgoto
23/04/2018 11:50:58	0,1096	0,3090	1,5849	Tampa de esgoto
23/04/2018 11:51:50	0,1514	0,3020	1,2882	Tampa de esgoto
23/04/2018 11:52:13	0,1698	0,3508	1,6032	Tampa de esgoto
23/04/2018 11:52:41	0,1698	0,2692	1,6218	Tampa de esgoto
23/04/2018 11:53:06	0,1585	0,2818	1,2445	Lombas
23/04/2018 12:01:34	0,0822	0,0813	0,7674	Buraco
23/04/2018 12:02:15	0,2138	0,4571	1,0839	Buraco
23/04/2018 12:02:47	0,2630	0,1096	1,0471	Tampa de esgoto
23/04/2018 12:02:56	0,1462	0,1950	0,7499	Tampa de esgoto

Tabela 14 – Acelerações medidas no assento - 2º ensaio.

Date & time	ASSENTO			Tipo de Irregularidade
	Ch1	Ch2	Ch3	
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	
23/04/2018 12:32:29	0,0750	0,1135	1,0471	Tampa de esgoto
23/04/2018 12:33:45	0,1995	0,2600	2,6002	Buraco
23/04/2018 12:33:58	0,0617	0,2985	0,7852	Lombas
23/04/2018 12:42:27	0,1216	0,2985	1,6032	Tampa de esgoto
23/04/2018 12:42:40	0,1479	0,3162	1,6788	Tampa de esgoto
23/04/2018 12:44:14	0,1429	0,5370	1,7783	Tampa de esgoto
23/04/2018 12:45:34	0,1514	0,2570	1,9724	Lombas
23/04/2018 12:46:47	0,1496	0,2163	1,7783	Tampa de esgoto
23/04/2018 12:47:38	0,2317	0,4169	1,4125	Tampa de esgoto
23/04/2018 12:49:26	0,1161	0,1549	1,4622	Tampa de esgoto
23/04/2018 12:49:57	0,1122	0,1972	1,6596	Tampa de esgoto
23/04/2018 12:50:03	0,1679	0,3162	1,7989	Tampa de esgoto
23/04/2018 12:50:59	0,1479	0,1641	1,7989	Lombas
23/04/2018 12:57:19	0,1622	0,0794	1,1885	Buraco
23/04/2018 13:00:10	0,0902	0,1175	0,8810	Tampa de esgoto
23/04/2018 13:00:29	0,1603	0,4074	0,9333	Tampa de esgoto
23/04/2018 13:01:22	0,0881	0,3890	0,9772	Tampa de esgoto

Tabela 15 – Acelerações medidas no assento - 3º ensaio.

Date & time	ASSENTO			Tipo de Irregularidade
	Ch1	Ch2	Ch3	
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	
23/04/2018 16:29:19	0,2213	0,4519	1,3804	Tampa de esgoto
23/04/2018 16:30:34	0,1230	0,0944	0,9550	Tampa de esgoto
23/04/2018 16:30:51	0,1189	0,1413	0,8318	Tampa de esgoto
23/04/2018 16:32:26	0,1549	0,0132	0,1496	Buraco
23/04/2018 16:33:40	0,1738	0,1012	1,1220	Lombas
23/04/2018 16:40:40	0,3090	0,1012	1,3183	Lombas
23/04/2018 16:45:02	0,2512	0,3020	1,6596	Lombas
23/04/2018 16:46:20	0,4169	0,2089	1,7989	Tampa de esgoto
23/04/2018 16:46:36	0,2113	0,2371	1,7378	Lombas
23/04/2018 16:48:09	0,1429	0,1884	1,6596	Tampa de esgoto
23/04/2018 16:49:04	0,1928	0,2570	1,7783	Tampa de esgoto
23/04/2018 16:50:53	0,1905	0,1884	2,0184	Lombas
23/04/2018 17:00:58	0,2754	0,4842	1,1350	Tampa de esgoto
23/04/2018 17:01:26	0,0966	0,1135	0,7586	Tampa de esgoto
23/04/2018 17:01:31	0,1148	0,1549	0,8913	Tampa de esgoto
23/04/2018 17:01:42	0,1429	0,1799	0,9886	Tampa de esgoto
23/04/2018 17:01:51	0,1462	0,2455	0,9120	Tampa de esgoto

Tabela 16 – Acelerações medidas no assento - 4º ensaio.

Date & time	ASSENTO			Tipo de Irregularidade
	Ch1	Ch2	Ch3	
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	
23/04/2018 17:11:10	0,10233	0,29854	1,07152	Tampa de esgoto
23/04/2018 17:12:23	0,15488	0,13335	1,16145	Tampa de esgoto
23/04/2018 17:14:44	0,25410	0,13183	0,41210	Buraco
23/04/2018 17:14:58	0,16596	0,28510	1,27350	Lombas
23/04/2018 17:23:08	0,30549	0,46238	2,06538	Tampa de esgoto
23/04/2018 17:23:58	0,27861	0,26915	2,11349	Lombas
23/04/2018 17:26:32	0,21878	0,34674	1,79887	Lombas
23/04/2018 17:27:04	0,21878	0,29512	1,62181	Tampa de esgoto
23/04/2018 17:27:18	0,53088	0,21878	1,84077	Lombas
23/04/2018 17:29:06	0,23714	0,31989	1,71791	Tampa de esgoto
23/04/2018 17:30:32	0,21380	0,33884	1,71791	Tampa de esgoto
23/04/2018 17:31:41	0,15488	0,23174	1,54882	Lombas
23/04/2018 17:44:18	0,09016	0,11749	0,83176	Tampa de esgoto
23/04/2018 17:44:31	0,13646	0,25410	1,02329	Tampa de esgoto
23/04/2018 17:44:53	0,10000	0,16596	0,68391	Tampa de esgoto

Foi calculado o valor médio das acelerações nos 6 canais (3 canais medidos no Assento e outros 3 canais medidos no Piso). Primeiramente analisou-se o valor médio do piso para os 4 ensaios:

Tabela 17 –Valor médio das acelerações obtidas no piso.

1º ENSAIO	PISO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Média =	0,083119667	0,120989812	0,535440538

2º ENSAIO	PISO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Média =	0,088784549	0,130191179	0,573544568

3º ENSAIO	PISO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Média =	0,089341373	0,129170317	0,536665103

4º ENSAIO	PISO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Média =	0,094673227	0,132042284	0,522585479

Seguidamente efetuou-se a mesma análise para o assento:

Tabela 18 –Valor médio das acelerações obtidas no assento.

1º ENSAIO	ASSENTO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Média =	0,099090204	0,134427438	0,527514334

2º ENSAIO	ASSENTO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Média =	0,097742724	0,142219182	0,56539739

3º ENSAIO	ASSENTO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Média =	0,120193287	0,141684905	0,530408203

4º ENSAIO	ASSENTO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Média =	0,120432204	0,144280468	0,510003994

Em termos de valores máximos registados (por eixo e tempos diferentes), quer para o piso, quer para o assento, foram obtidos os seguintes valores:

Tabela 19 –Valor máximo das acelerações obtidas no piso.

1º ENSAIO	PISO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Vibração máx =	0,841395142	0,609536897	2,426610095

2º ENSAIO	PISO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Vibração máx =	1,035142167	0,609536897	2,786121169

3º ENSAIO	PISO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Vibração máx =	0,630957344	0,623734835	2,21309471

4º ENSAIO	PISO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Vibração máx =	0,831763771	0,841395142	2,238721139

Tabela 20 –Valor máximo das acelerações obtidas no assento.

1º ENSAIO	ASSENTO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Vibração máx =	0,841395142	0,741310241	2,371373706

2º ENSAIO	ASSENTO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Vibração máx =	1,083926914	0,831763771	2,600159563

3º ENSAIO	ASSENTO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Vibração máx =	0,623734835	0,741310241	2,018366364

4º ENSAIO	ASSENTO		
	Ch1	Ch2	Ch3
	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]	aw [m/s ²]
Vibração máx =	0,82224265	0,912010839	2,11348904

Pelo artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 46/2006 de 24 de fevereiro ([Decreto-Lei n.º 46/2006](#)) [15], os valores limite de exposição e de ação de exposição são, respetivamente, de 1,15 m/s² e 0,5 m/s².

No ANEXO II do mesmo Decreto-Lei ([Decreto-Lei n.º 46/2006](#)) [15], o método para determinar a exposição do condutor às vibrações é dado pela equação (1), estando nesse mesmo anexo, definidos os valores de k para os respetivos eixos x, y e z :

$$A_{(8)} = k a_w \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (1)$$

Tomando os valores do tempo de duração do ensaio (Tabela 4), como o tempo de exposição (T), e os restantes valores do ANEXO II temos que:

Tabela 21 –Valores parciais e valor total da exposição diária às vibrações (A_8).

A(8) parciais	Ch3	Tempo	aw
	[m/s ²]	(s)	[m/s ²]
1º ENSAIO	0,1453	2185	0,527514
2º ENSAIO	0,1446	1885	0,565397
3º ENSAIO	0,1439	2120	0,530408
4º ENSAIO	0,1389	2137	0,510004

Posto de trabalho

A(8)	0,3	m/s ²
-------------	------------	------------------

Tendo em consideração que foram efetuadas medições de vibração utilizando os seis canais do acelerómetro, é igualmente possível determinar o efeito da transmissibilidade das vibrações pela superfície do assento. Assim sendo, para se avaliar o comportamento dinâmico do assento, estudou-se a transmissibilidade da vibração com base no parâmetro SEAT (*Seat Effective Amplitude Transmissibility*).

Este traduz a razão entre os valores da aceleração ponderada obtidos para o eixo z, respetivamente, sobre o assento e sobre o piso do veículo. Deste modo, o cálculo é feito segundo a equação (2) (Melo, R. M. B, 2006)⁸:

$$SEAT_{r.m.s} \% = \frac{a_{wz} \text{ assento}}{a_{wz} \text{ piso}} \times 100 \quad (2)$$

⁸ Melo, Rui Miguel Bettencourt (2006) - Exposição ocupacional a vibrações transmitidas ao corpo inteiro: factores condicionantes na condução de autocarros urbanos. Tese de Doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa. Faculdade de Motricidade Humana.

5.1.2 Ruído

Na opinião de Shukla (Shukla 2007) [49], além do ruído gerado pelo veículo advir de todos os seus componentes mecânicos e aerodinâmicos, este autor refere que o ruído também advém da interação entre o piso e o pneu do veículo. Este facto também pode ser verificado nos gráficos obtidos com a medição de ruído no interior do veículo aquando da realização dos ensaios.

Os valores obtidos devido às irregularidades observadas, para os quatro ensaios, estão representados na Tabela 22:

Tabela 22 –Irregularidades detetadas nos ensais de ruído.

• Tampa de esgoto

1º ENSAIO	Tipo de Irregularidade	Ruído Leq dB (A)	2º ENSAIO	Tipo de Irregularidade	Ruído Leq dB (A)	3º ENSAIO	Tipo de Irregularidade	Ruído Leq dB (A)	4º ENSAIO	Tipo de Irregularidade	Ruído Leq dB (A)
23/04/2018 11:33:07	Tampa de Esgoto	59,20	23/04/2018 12:32:29	Tampa de esgoto	61,10	23/04/2018 16:29:19	Tampa de esgoto	60,60	23/04/2018 17:11:10	Tampa de esgoto	61,30
23/04/2018 11:45:06	Tampa de esgoto	71,90	23/04/2018 12:42:27	Tampa de esgoto	70,10	23/04/2018 16:30:34	Tampa de esgoto	52,30	23/04/2018 17:12:23	Tampa de esgoto	62,40
23/04/2018 11:46:03	Tampa de esgoto	63,60	23/04/2018 12:42:40	Tampa de esgoto	60,90	23/04/2018 16:30:51	Tampa de esgoto	55,00	23/04/2018 17:23:08	Tampa de esgoto	59,50
23/04/2018 11:47:06	Tampa de esgoto	74,10	23/04/2018 12:44:14	Tampa de esgoto	73,60	23/04/2018 16:46:20	Tampa de esgoto	64,50	23/04/2018 17:27:04	Tampa de esgoto	66,40
23/04/2018 11:48:37	Tampa de esgoto	69,70	23/04/2018 12:46:47	Tampa de esgoto	53,40	23/04/2018 16:48:09	Tampa de esgoto	64,60	23/04/2018 17:29:06	Tampa de esgoto	73,60
23/04/2018 11:49:41	Tampa de esgoto	64,10	23/04/2018 12:47:38	Tampa de esgoto	72,70	23/04/2018 16:49:04	Tampa de esgoto	72,50	23/04/2018 17:30:32	Tampa de esgoto	74,00
23/04/2018 11:50:58	Tampa de esgoto	55,20	23/04/2018 12:49:26	Tampa de esgoto	71,80	23/04/2018 17:00:58	Tampa de esgoto	63,60	23/04/2018 17:44:18	Tampa de esgoto	68,70
23/04/2018 11:51:50	Tampa de esgoto	75,40	23/04/2018 12:49:57	Tampa de esgoto	55,50	23/04/2018 17:01:26	Tampa de esgoto	63,70	23/04/2018 17:44:31	Tampa de esgoto	54,30
23/04/2018 11:52:13	Tampa de esgoto	66,30	23/04/2018 12:50:03	Tampa de esgoto	55,70	23/04/2018 17:01:31	Tampa de esgoto	55,40	23/04/2018 17:45:53	Tampa de esgoto	39,70
23/04/2018 11:52:41	Tampa de esgoto	71,30	23/04/2018 13:00:10	Tampa de esgoto	69,00	23/04/2018 17:01:42	Tampa de esgoto	58,50			
23/04/2018 12:02:47	Tampa de esgoto	61,90	23/04/2018 13:00:29	Tampa de esgoto	64,90						
23/04/2018 12:02:56	Tampa de esgoto	63,40	23/04/2018 13:01:22	Tampa de esgoto	59,20						

• Lombas

1º ENSAIO	Tipo de Irregularidade	Ruído Leq dB (A)	2º ENSAIO	Tipo de Irregularidade	Ruído Leq dB (A)	3º ENSAIO	Tipo de Irregularidade	Ruído Leq dB (A)	4º ENSAIO	Tipo de Irregularidade	Ruído Leq dB (A)
23/04/2018 11:36:03	Lombas	59,30	23/04/2018 12:33:58	Lombas	56,10	23/04/2018 16:33:40	Lombas	73,10	23/04/2018 17:14:58	Lombas	73,20
23/04/2018 11:48:07	Lombas	66,80	23/04/2018 12:45:34	Lombas	74,40	23/04/2018 16:40:40	Lombas	72,40	23/04/2018 17:23:58	Lombas	67,30
23/04/2018 11:49:02	Lombas	72,90	23/04/2018 12:50:59	Lombas	74,80	23/04/2018 16:45:02	Lombas	59,80	23/04/2018 17:26:32	Lombas	61,90
23/04/2018 11:53:06	Lombas	74,20				23/04/2018 16:46:36	Lombas	61,10	23/04/2018 17:27:18	Lombas	63,30
						23/04/2018 16:50:53	Lombas	62,80	23/04/2018 17:31:41	Lombas	65,00

• Buracos

1º ENSAIO	Tipo de Irregularidade	Ruído Leq dB (A)	2º ENSAIO	Tipo de Irregularidade	Ruído Leq dB (A)	3º ENSAIO	Tipo de Irregularidade	Ruído Leq dB (A)	4º ENSAIO	Tipo de Irregularidade	Ruído Leq dB (A)
23/04/2018 11:35:17	Buraco	43,50	23/04/2018 12:33:45	Buraco	59,80	23/04/2018 16:32:26	Buraco	63,40	23/04/2018 17:14:44	Buraco	66,70
23/04/2018 11:35:42	Buraco	41,40	23/04/2018 12:57:19	Buraco	74,40						
23/04/2018 11:48:49	Buraco	59,20									
23/04/2018 11:49:22	Buraco	61,00									
23/04/2018 12:01:34	Buraco	70,30									
23/04/2018 12:02:15	Buraco	65,90									

Para o cálculo da incerteza do $L_{ex,8h}$, e de acordo com o Quadro C.5 do Anexo C da norma NP EN ISO 9612 (NP EN ISO 2011) [35], o aparelho utilizado na medição tem uma incerteza padrão de 0,7 dB, sendo esse o valor utilizado.

5.2 Discussão dos resultados

Relativamente à transmissibilidade das vibrações pela superfície do assento, em termos de avaliação de resultados, se o rácio entre os valores do assento e do piso for superior a 100 % significa que a aceleração no assento se apresenta superior à aceleração no piso e, portanto, o assento amplifica a transmissão da vibração. Se ao invés, o rácio for inferior a 100%, a aceleração

medida no piso é superior à aceleração no assento e, neste caso, o assento tem um efeito atenuador na transmissão da vibração.

Os valores obtidos na realização dos 4 ensaios, apresentam valores inferiores a 100% pelo que a aceleração medida no piso é superior à aceleração medida no assento o que significa que este tem um efeito atenuador na transmissão de vibração.

Parâmetro SEAT (média de valores ENSAIO 1)	98,52%	Atenua
Parâmetro SEAT (média de valores ENSAIO 2)	98,58%	Atenua
Parâmetro SEAT (média de valores ENSAIO 3)	98,83%	Atenua
Parâmetro SEAT (média de valores ENSAIO 4)	97,59%	Atenua

Figura 33 – Valores relativos ao Parâmetro SEAT.

Analisando a Tabela 22, verifica-se que o ruído gerado pelas diversas irregularidades encontra-se abaixo do limite de exposição definida no artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 182/2006 de 6 de setembro [14], pelo que, mais uma vez, para o tempo de exposição definido na Tabela 4, não existe risco para o condutor.

Relativamente à relação ruído/vibração, os valores obtidos são tão dispares que não é possível efetuar uma análise assertiva relativamente ao tipo de irregularidade com o valor da relação ruído/vibração.

6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Conclusões

Relativamente aos estudos analisados, verificou-se que os mesmos focam bem a possibilidade de identificar defeitos no pavimento através de sinais de vibração, contudo não foi possível identificar nenhum estudo que utilizasse o ruído medido no interior do veículo como ferramenta de análise do estado do pavimento. Como tal, através do desenvolvimento deste estudo, a intenção foi obter dados relevantes relacionados com a vibração e com o ruído, e desta forma, relacioná-los entre si para obter de forma clara e inequívoca valores que identifiquem claramente qualquer anomalia existente no pavimento.

Quanto à relação vibração/ruído, enquanto ferramenta para uma gestão de manutenção do piso, devido às muitas variáveis envolvidas, os dados não permitiram estabelecer uma relação entre as irregularidades e a vibração/ruído, como se pode observar nas Tabelas 9 a 12. A título de exemplo, tanto se pode obter um valor de 63,4 dB(A) para um buraco como de 62,8 dB(A) para uma lomba ou de 63,7 dB(A) para uma tampa de esgoto que são valores muito próximos o que impossibilita a diferenciação entre eles. O mesmo se passa relativamente à vibração. É possível obter valores muito próximos para irregularidades diferentes, como se pode observar igualmente nas Tabelas 9 a 12. Também, a título de exemplo, é possível ter um valor de 1,0471 m/s² em a_{wz} para uma tampa de esgoto e 1,0839 m/s² em a_{wz} para um buraco.

O estado do pavimento urbano não foi unicamente a preocupação deste estudo, pois, tendo em vista que o veículo automóvel é largamente utilizado como ferramenta de trabalho, também existiu a preocupação de analisar a exposição do condutor aos níveis de ruído e vibrações.

De acordo com a Tabela 21, para o tempo mencionado na Tabela 4 para os quatro ensaios, e levando em consideração que os mesmos são uma só atividade, conclui-se que a exposição do trabalhador ($A_8 = 0,3 \text{ m/s}^2$) fica abaixo quer do valor limite de exposição (1,15 m/s²) quer do valor de ação de exposição (0,5 m/s²).

Relativamente ao ruído, pelos cálculos efetuados no Anexo III, pode ser constatado que o valor $L_{EX,8h} = 64,3 \pm 1,0 \text{ dB(A)}$ se encontra igualmente abaixo quer do valor limite de exposição $L_{EX,8h} = 87 \text{ dB(A)}$, quer dos valores de ação superior ($L_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$) e ação inferior ($L_{EX,8h} = 80 \text{ dB(A)}$).

Conclui-se, desta forma que os valores de ruído e vibração obtidos nos ensaios, encontram-se dentro dos parâmetros permitidos pela legislação nacional, pelo que não apresentam qualquer situação de risco para o trabalhador a exercer uma atividade de condução.

6.2 Perspetivas Futuras

Se existir possibilidade de eliminar muitas das variáveis com que este estudo se deparou, tais como, velocidade variável ao longo dos 4 ensaios, sincronismo entre dispositivos (acelerómetro, sonómetro e GPS), bem como haver a possibilidade de registar as irregularidades ao segundo, existe potencialidade para que este tipo de estudo surta mais resultados. A existência de aparelhos embutidos nas viaturas, a par do que se verifica com os sistemas de navegação, informação de trânsito em tempo real, etc., irá certamente melhorar em muito a obtenção mais assertiva da relação entre as duas variáveis estudadas e, igualmente relacioná-las com a velocidade de circulação do veículo e o tipo de irregularidade.

De igual modo, a possibilidade de efetuar as medições em ambiente controlado (circuito de testes, por exemplo) pode facilitar muito a eliminação das variáveis penalizantes acima mencionadas.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Liberati, D. G., Altman, J., Tetzlaff, C., Mulrow, J. P. A., Ioannidis, M., Clarke, P. J., Devereaux, J., Kleijnen & Moher, D. (2009). The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions. *Annals of Internal Medicine Academia and Clinic*, vol. 151, no. 4.
- [2] Abagnale, C., Cardone, M., Iodice, P., Strano, S., Terzo, M. (2014). Theoretical and Experimental Evaluation of a Chain Strength Measurement System for Pedelecs. *Engineering Letters* 22(3): 102-108.
- [3] ASTM (2003). "Standard practice for computing International Roughness Index of Roads from longitudinal profile measurements". *E 1926-9*.
- [4] Beckenbauer, T. (2002). Einfluss der Fahrbahtextur auf das Reifen-Fahrbaht-Geräusch. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik ; 847. *Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen*, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Bonn.
- [5] Bennett, C. R., Greenwood, I. D. (2001). Modelling Road User and Environmental Effects in HDM-4. *HDM-4 Highway Development and Management*. Vol. 7, International Study of Highway Development and Management, World Roads Association, Paris.
- [6] Bifulco, G. N., Galante, F., Pariota, L., Russo Spena, M. (2015). A Linear Model for the Estimation of Fuel Consumption and the Impact Evaluation of Advanced Driving Assistance Systems. *Sustainability* 7(10): 14326-14343.
- [7] Bschorr, O. (1986). Reduktion von Reifenlärm. *Automobil-Industrie*, 31(6).
- [8] Bschorr, O. (2001). Determination of Road Induced Tire Noise by Measuring the Torus Sound. In *VDI Berichte*, pages 105-114, Hannover, Germany.
- [9] Cebon, D. (1999). Handbook of vehicle-road interaction. *Swets&Zeitlinger*, Lisse, Netherlands.
- [10] Chandra, S. (2004). Effect of Road Roughness on Capacity of Two-Lane Roads. *Journal of Transportation Engineering* 130(3): 360-364.
- [11] D'Apuzzo, M., Festa, B., Giuliana, G., Mancini L., Nicolosi, V. (2012). The Evaluation of Runway Surface Properties: a New Approach. *Procedia: Social & Behavioral Science* 53: 1193-1202.
- [12] D'Apuzzo, M., Nicolosi, V., Mattarocci, M. (2004). Predicting Roughness Progression on Asphalt Pavements. In *Proc. Of the II International SIIV Congress*, 27-29 October 2004, Florence, Italy.
- [13] Dahlstedt, S. (2003). Smooth enough? Estimated roughness on roads with low international roughness index. *Transp. Res. Rec.*, 1860, 144-151.
- [14] Decreto-Lei n.º 182/2006 - *Diário da República* n.º 172/2006, Série I de 2006-09-06. Disponível em: <http://data.dre.pt/eli/dec-lei/182/2006/09/06/p/dre/pt/html>

-
- [15] Decreto-Lei n.º 46/2006 - *Diário da República* n.º 40/2006, Série I-A de 2006-02-24. Disponível em: <http://data.dre.pt/eli/dec-lei/46/2006/02/24/p/dre/pt/html>
- [16] Fernando, E., Rawool, S. (2005). Methodology for Detection of Defect Locations in Pavement Profile. *Transportation Research Record* 1905: 141-147.
- [17] Griffin, M. J. (2007). Discomfort from feeling vehicle vibration. *Vehicle System Dyn.*, 45(7-8), 679-698.
- [18] Haider, M., Sandberg, U. (2006). Noise classification methods for urban road surfaces. *User manual: measurement methods*. page 34 p.
- [19] Iodice, P., Senatore, A. (2015). Exhaust Emissions of New High-Performance Motorcycles in Hot and Cold Conditions. *International Journal of Environmental Science and Technology* 12(10): 3133-3144.
- [20] Irali, F., Gonzalez, M., Tighe, S. L., Simone, A. (2015). Temperature and Aging Effects on Tire/pavement Noise Generation in Ontarian Road Pavements. *In Transportation Research Board 94th Annual Meeting*.
- [21] ISO (1997). "Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: Statistical Pass-By method". *ISO 11819-1*, Geneva.
- [22] ISO (1997). "Mechanical vibration and shock – Evaluation of human response to whole-body vibration. Part I: General requirements". *ISO 2631-1*, Geneva.
- [23] ISO (2003). "Tyres - Coast-by methods for measurement of tyre-to-road sound emission". *ISO 13325*, Geneva.
- [24] ISO (2004). "Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks". *ISO 2631-5*.
- [25] Iwao, K., Yamazaki, I. (1996). A study on the mechanism of tire/road noise. *JSAE review*, 17(2):139-144.
- [26] Kindt, P., 2009. *Structure-Borne Tyre/Road Noise Due to Road Surface Discontinuities*. Katholieke Universiteit Leuven, Leuven.
- [27] Krauss, O., Gauterin, F. (2012). Analysis of tire road noise using a tire cavity sound measurement system. *In EURONOISE Prague 2012 – Conference Proceedings*, Prague.
- [28] Kropáč, O., Múčka, P. (2005). Be careful when using the international roughness index as an indicator of road unevenness. *Journal Sound Vib.*, 287(4-5), 989-1003.
- [29] Liu, L., Zou, F. (2016). Research on the Data Collection Methods for Pavement Maintenance Based on the Internet of Vehicles. *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*.
- [30] Masino, J. Wornhas, B., Frey, M., Gauterin, F. (2017). Identification and Prediction of Road Features and Their Contribution on Tire Road Noise. *WSEAS Transactions on Systems and Control*.

- [31] Múčka, P. (2013). Correlation among road unevenness indicators and vehicle vibration response. *Journal Transp. Eng.*, 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000558, 771-786.
- [32] Múčka, P. (2017). Road Roughness Limit Values Based on Measured Vehicle Vibration. *Journal of Infrastructure Systems*, 23(2): 04016029.
- [33] Múčka, P., Granlund, J. (2012). Comparison of longitudinal unevenness of old and repaired highway lanes. *J. Transp. Eng.*, 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000297, 371-380.
- [34] NP EN ISO (2007). “Vibrações mecânicas e choque – Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações. Parte 1: Requisitos gerais” *NP EN ISO 2631-1*.
- [35] NP EN ISO (2011). “Acústica – Determinação da exposição ao ruído ocupacional – Método de Engenharia”. *NP EN ISO 9612*.
- [36] Oshino, Y., Mikami, T. (2001). Study of road surface indices for the assesment of tire/road noise. *In Inter-Noise 2001*.
- [37] Perneti, M., D’Apuzzo, M., Galante, F. (2016). A new approach to assess the influence of road roughness on driver speed behavior based on driving Simulator tests. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*.
- [38] Pr EN (2015). “Road and airfield surface characteristics – Test methods. Part 5: Determination of longitudinal unevenness indices”. *Pr EN 13036-5*.
- [39] Reichart, U. (2009). Lärmindernde Fahrbahn-beläge-Ein Überblick über den Stand der Technik. *Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt*.
- [40] Roy, T. K., et al. (2013). Influence of honking on the noisier situation (L_{10}). *Indian Journal of Environmental Protection*, 60(2): 132-136.
- [41] Roy, T. K., Mukhopadhyay, A. R., Ghosh, S. K., Majumber, G. (2013). Estimation of Noise of a Moving Passenger Car. *Indian Journal of Environmental Protection*, Vol. 33, No. 6.
- [42] Sadeghi, J. (2010). Development and implementation of urban pavement repair and maintenave management system in Karaj. *Iran University of Science and Technology*, Report number F13/1126, Tehran, Iran.
- [43] Sadeghi, J., Najafabadi, E. R., and Kaboli, M. E. (2017). Development of degradation model for urban asphalt pavement. *International Journal of Pavement Engineering*.
- [44] Sandberg U., Descornet, G. (1980). Road surface influence on tire/road.
- [45] Sandberg, U. (1987). Road traffic noise – the influence of the road surface and its characterization. *Applied Acoustics*, 21(2):97-118.
- [46] Sandberg, U. (2001). Tyre/road noise: myths and realities. *Technical report, Swedish National Road and Transportation Research Institute*.

-
- [47] Sayers, M. W., Gillespe, T. D., and Paterson, W. D. O. (1986). Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements. *The World Bank, Washington, DC*.
- [48] Sayers, M. W., Karamihas, S. M. (1998). The little book of profiling. *Transportation Research Institute, University of Michigan, Ann Arbor, MI*, 102.
- [49] Shukla, A. (2007). Status of noise levels due to vehicular traffic. *Indian J. Air Poll.*, 7(2): 61-78.
- [50] Tehrani, S. S., Falls, L. C., and Mesher, D. (2015). Road user's perception of roughness and the corresponding IRI threshold values. *Can. J. Civ. Eng.*, 42(4), 233-240.
- [51] Tsujiuchi, N., Koizumi, T., Oshibuchi, A., Shima, I. (2005). Rolling tire vibration caused by road roughness. *Technical report, SAE Technical Paper 2005-01-2524*.
- [52] Wang, F., Easa, S. (2016). Analytical evaluation of ride Comfort on asphalt concrete pavements. *J. Test Eval.*, 44(4), in press.
- [53] Zhang, G. L. (2010). Brief Discussion on Application of NDT Technology on Road and Bridge Project. *Journal Value Engineering*, vol. 21, no. 7, pp. 47-48.

8 ANEXOS

Os anexos encontram-se em suporte informático (CD) na ordem abaixo indicada.

ANEXO I – Liu & Zou 2016 [29]	09 Páginas
ANEXO II – Múčka 2017 [32]	13 Páginas
ANEXO III – Perneti, D’Apuzzo & Galante 2016 [37]	09 Páginas
ANEXO IV – Roy, Mukhopadhyay, Ghosh & Majumber 2013 [41]	07 Páginas
ANEXO V – Masino, Wohnhas, Frey & Gauterin 2017 [30]	12 Páginas
ANEXO VI – Sadeghi, Najafabi & Kaboli 2017 [43]	10 Páginas
ANEXO VII – Decreto-Lei n.º 182/2006 [14]	10 Páginas
ANEXO VIII – Decreto-Lei n.º 46/2006 [15]	09 Páginas
ANEXO IX – Estatísticas em síntese – Acidentes de Trabalho 2014	08 Páginas
ANEXO X – Registos em EXCEL da pesquisa baseada em PRISMA	03 Páginas
ANEXO XI – Tabela Excel com os valores da aceleração	17 Páginas
ANEXO XII – Tabela em Excel com os valores do ruído	05 Páginas
ANEXO XIII – Valores para o cálculo do L_{eq8h}	01 Página
ANEXO XIV – Valores de L_{eq8h}	01 Página